



**TESIS (MO 142528)**

**STUDI PENGARUH *SLAMMING* TERHADAP KEKUATAN  
STRUKTUR GLOBAL DAN LOKAL *DRILLSHIP* PADA  
KONDISI *TRANSIT***

**MAHASIN MAULANA AHMAD**  
NRP. 4113. 201. 001

**DOSEN PEMBIMBING**  
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Ir. Handyanu, M.Sc.

**PROGRAM MAGISTER  
JURUSAN TEKNIK PERANCANGAN BANGUNAN LAUT  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**



**THESIS (MO 142528)**

**A STUDY OF SLAMMING INFLUENCE DUE TO GLOBAL  
AND LOCAL STRUCTURE STRENGTH OF DRILLSHIP IN  
TRANSIT CONDITION**

**MAHASIN MAULANA AHMAD  
NRP. 4113. 201. 001**

**Supervisor  
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Ir. Handayanu, M.Sc.**

**MASTER PROGRAM  
GRADUATE PROGRAM IN MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015**

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister  
Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Mahasin Maulana Ahmad  
NRP. 4113. 201. 001

Tanggal Ujian : 16 Januari 2015  
Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui oleh:

1 Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 195812261984031002

(Pembimbing I)

2 Dr. Ir. Handayanu, M.Sc  
NIP. 196307281988031001

(Pembimbing II)

3 Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.  
NIP. 196107021988031003

(Penguji)

4 Dr.Eng. Rudi W. Prastianto, ST., MT.  
NIP. 197105081997031001

(Penguji)

5 Silvianita, ST., M.Sc., Ph.D  
NIP. 198308062006042001

(Penguji)

6 Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 197111051995121001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
NIP. 196404051990021001

# **Studi Pengaruh *Slamming* Terhadap Kekuatan Struktur Global dan Lokal *Drillship* pada Kondisi Transit**

Nama Mahasiswa : Mahasin Maulana Ahmad  
NRP : 4113 201 001  
Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.  
Ko-pembimbing : Dr. Ir. Handayanu., M.Sc., Ph.D

## **ABSTRAK**

*Slamming* merupakan fenomena yang terjadi pada bangunan apung. *Drillship* sebagai bangunan apung, mengalami *slamming* pada saat bagian haluan kapal naik melewati permukaan gelombang dan masuk kembali ke dalam air dengan kecepatan relatif vertikal haluan yang melewati kecepatan ambang batas *slamming*. Besarnya beban gelombang yang terjadi pada saat *drillship transit* dari satu titik ke titik yang lain mengakibatkan beban dinamis (quasi statis) yang berpengaruh terhadap respon dan kekuatan struktur. Dalam studi ini dilakukan analisis *slamming* terhadap *drillship* 35000 ton dengan variasi kecepatan 7 knot, 12 knot, 13 knot dan 14 knot. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan meninjau gerakan kopel *heave* dan *pitch* yang terjadi pada bagian haluan *drillship*. Gerakan kopel *heave* dan *pitch* dikorelasikan dengan sudut fase yang sesuai akan menghasilkan gerak relatif vertikal haluan. Perhitungan RAO gerakan *heave* dan *pitch* diperoleh dengan menggunakan *software hydrostar*. Hasil analisis *hydrostar*, menunjukkan bahwa RAO maksimal gerakan relatif vertikal haluan terjadi pada saat *drillship transit* dengan kecepatan 14 knot pada frekuensi rendah 0.187 rad/s sebesar 4.3233 m/m. Hasil perhitungan RAO dikorelasikan dengan spektra gelombang untuk mengetahui respon spektra dan didapatkan karakteristik *slamming* yang terjadi pada *drillship* seiring dengan kenaikan tinggi gelombang signifikan. Karakteristik *slamming* maksimal terjadi pada  $H_s$  15 m, peluang terjadinya *slamming* 0.483 kali, intensitas *slamming* 124.451 kali/jam dan tekanan *slamming* 492.232 kPa. Hasil perhitungan tekanan *slamming* di konversikan kedalam bentuk gaya dengan mengintegrasikan terhadap luasan yang ditinjau. Karakteristik respon struktur dinamis (quasi statis) yang berupa *shear force* dan *bending moment* digunakan sebagai beban yang diberikan pada *drillship* dalam Metode Elemen Hingga. Analisis global *drillship*, terjadi *ultimate* pada  $H_s$  11 m yakni stress sebesar 451 MPa untuk jenis material logam ASTM A852 (430 MPa). Sedangkan analisis lokal, dilakukan dengan menambahkan gaya yang terjadi akibat tekanan *slamming* didaerah haluan, sehingga terjadi *ultimate* pada  $H_s$  sekitar 11 m yakni stress sebesar 716 MPa untuk jenis material ASTM A852 (430 MPa).

**Kata Kunci :** *Drillship, Slamming, Quasi-statis, Metode Elemen hingga Tegangan Ultimate.*

# ***A Study of Slamming Influence due to Global and Local Structure Strength of Drillship in Transit Condition***

Name : Mahasin Maulana Ahmad

NRP : 4113 201 001

Supervisor : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

Co-supervisor : Dr. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D

## **ABSTRACT**

*Slamming is a phenomenon that occurs on a floating structure. Drillship as a floating structure occurs a slamming when bow section move to above the wave elevation and then move down back into the water with the relative speed of the vertical direction that passed the threshold velocity. The magnitude of the wave loads that occur during the drillship in transit condition from one point to another point lead dynamic loads (quasi-static) which will effect on the strength and response structures. In this study, the analysis of slamming performed on the drillship that has displacement of 35000 tons with some variations in speed. Speed variations that will be analyzed are 7 knots, 12 knots, 13 knots and 14 knots. The first step in this analysis is to review the heave and pitch couple motion that occurs in the bow of the drillship. The couple motion of heave and pitch correlated with phase angle will produce relative vertical motion on bow. Software hydrostar is used to obtain the heave and pitch motions RAO. Simulating on a speed of 14 knots, vertical motion RAO at the bow of drillship reach the highest point 4.3233 m/m at low frequencies 0.187 rad/sec. RAO calculation results, correlated with the wave spectrum to determine the response spectra and obtained characteristic of slamming that occurs on the drillship along with an increasing of significant wave height. Maximum slamming characteristics occurs in significant wave height of 15 m with a probability of slamming by 0.483 times, slamming intensity by 124.451 times/hour and slamming pressure by 492.232 kPa. The result of slamming pressure is converted be a force through a integral process of that pressure to its area. Dynamic structural response characteristics (quasi static) in the form of shear force and bending moment is used as a load given to the drillship in the Finite Element Method. The collapse occurred on the significant wave height (Hs) of about 11 m amounted 451 Mpa of stress to the type of metal material ASTM A852 for global analysis. While local analysis is done by adding the force caused by the pressure of slamming of the bow area and also collapse on the significant wave height (Hs) of about 11 m is amounted 716 MPa to the type of metal material ASTM A852.*

**Keyword :** *Drillship, Slamming, quasi-static, Finite Element Method, Ultimate Strength*

## KATA PENGANTAR

*Assalaamu'alaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillah rabbil 'aalamiin, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya kepada penulis. Sholawat serta salam senantiasa penulis sampaikan kepada junjungan nabi besar Muhammad SAW yang telah memberikan banyak petunjuk kepada penulis. Berkat suri tauladan beliaulah penulis bisa semangat dalam menyelesaikan penelitian yang dicurahkan dalam laporan tesis ini dan tentu saja dengan kemampuan yang penulis miliki. Dalam kesempatan ini penulis melakukan studi yang berjudul “**Studi Pengaruh Slamming Terhadap Kekuatan Struktur Global dan Lokal Drillship pada Kondisi Transit**”. Studi tesis ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi (S2) pasca sarjana di jurusan TPBL (Teknik Perancangan Bangunan Laut), Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan hasil studi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang mendukung untuk kebaikan penelitian inidari pihak lain. Akhir kata, penulis hanya dapat berharap penelitian ini dapat mempunyai andil bagi kemajuan dunia pendidikan, khususnya di bidang *Offshore Structure*.

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb

Surabaya, 13 Januari 2015

-Penulis-

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tesis ini, baik dari segi moral maupun material, secara langsung maupun tidak langsung. Karena manusia adalah makhluk sosial yang tidak bisa lepas dari kata dibantu dan membantu, oleh karena itu saya sebagai penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak. H. Saichan dan Ibu Rodliyah yang selalu mensupport penulis dalam segi apapun. Yang selalu mendo'akan dan memberi dorongan untuk terus belajar hingga bisa menyelesaikan tesis ini.
2. Saudara-saudara penulis (Yenny Faridah, Faris Achmad Assegaf dan Muhammad Ubaidillah Mufti) yang selalu mensupport dan mendo'akan penulis untuk tetap semangat dalam menyelesaikan tesis.
3. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing I yang berkenan memberikan waktu, tenaga serta pikiran kepada penulis dalam proses pengerjaan tesis ini.
4. Dr. Ir. Handayanu, M.Sc selaku dosen pembimbing II yang berkenan memberikan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam proses pengerjaan tesis ini.
5. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., Dr.Eng. Rudi W. Prastianto, ST., MT., Silvianita, ST., M.Sc., Ph.D., dan Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D. sebagai dosen penguji yang senantiasa memberi masukan tentang pengerjaan tesis ini.
6. PT. Bureau Veritas yang telah memberikan license dan mengajarkan penulis tentang Hydrostar yang turut andil dalam proses penyelesaian tesis.
7. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, ST, MT selaku Ketua Program Studi yang selama ini memberikan izin untuk penggunaan fasilitas Laboratorium Pasca Sarjana FTK ITS.
8. Beasiswa *Fresh Graduate* DIKTI yang telah bersedia membiayai penulis untuk melakukan studi program pasca sarjana.



9. I Dewa Gede Adi Surya Yuda, Arief Syarifuddin, Fardiansyah Cahya Pratama Putra dan Erdina Arianti yang selalu bersama untuk semangat menggapai tujuan penyelesaian tesis ini.
10. Seluruh dosen PPsTK-FTK yang telah meluangkan waktunya untuk berbagi ilmu kepada penulis selama menuntut ilmu di Jurusan TPBL FTK ITS ini.
11. Seluruh Karyawan PPsTK-FTK (Ibu Sr Rejeki, Ibu Dian, Pak Hasan dan Mas Zainur) yang banyak membantu permasalahan administrasi selama perkuliahan.
12. Teman-teman Lab. PPsTK-FTK yang selalu memberi semangat untuk segera menyelesaikan tesis ini.
13. Fadil Muhammad dan Arqol Abid yang selalu memberi support, dorongan kepada penulis untuk dapat segera menyelesaikan studi program magister ini.
14. N.A.M.E selaku keluarga kecil di Jurusan Teknik Kelautan selama kuliah S1 yang terus mensupport penulis untuk tetap semangat dalam menyelesaikan studi program magister ini.
15. Keluarga Besar LEVIATHAN yang selalu memberi semangat dan do'a kepada penulis untuk segera menyelesaikan tesis ini
16. Keluarga Besar D'09 yang selalu mendo'akan penulis serta mensupport penulis untuk tetap semangat menyelesaikan tesisi ini.
17. Maresda Satria, Pratiwi Fudlaillah dan M. Luqmanul Haqim yang banyak membantu dalam proses pengerjaan tesis ini.
18. Pihak-pihak tertentu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari tanpa bantuan beliau-beiau, penulis mungkin tidak bisa menyelesaikan tesis ini. Semoga semua ilmu, bimbingan, arahan, support dan do'a yang telah diberikan kepada penulis mendapat balesan dari Allah SWT dengan pahala yang setimpal.

-Penulis-

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
UCAPAN TERIMA KASIH .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Manfaat Penelitian .....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	7
2.1. Kajian Pustaka.....	7
2.2. Dasar Teori.....	8
2.2.1. <i>Drillship</i> .....	8
2.2.2. Perilaku Gerak Bangunan Apung.....	9
2.2.2.1. Gerakan <i>Couple Heave</i> dan <i>Pitch</i> .....	9
2.2.2.2. Gerak Relatif Vertikal Haluan .....	10
2.2.2.3. Karakteristik RAO Gerak Relatif Vertikal Haluan ...	11
2.2.3. <i>Shear Force</i> dan <i>Bending Moment</i> .....	12
2.2.4. Teori 3D-Difraksi.....	15
2.2.5. Tekanan Hidrostatik pada Kapal .....	18
2.2.6. RAO ( <i>Respons Amplitude Operator</i> ) .....	19
2.2.7. Respons Struktur dengan Pendekatan Quasi-Statik.....	21

2.2.8. Spektrum Gelombang.....	22
2.2.9. Respons Spektra.....	23
2.2.10. Teori <i>Slamming</i> .....	24
2.2.10.1. <i>Wave Impact Load</i> .....	24
2.2.10.1.1. Konsekuensi Akibat <i>Slamming</i> .....	24
2.2.10.1.2. <i>Effect Slamming</i> .....	25
2.2.10.2. Peluang <i>Slamming</i> .....	26
2.2.10.3. Intensitas <i>Slamming</i> .....	27
2.2.10.4. Tekanan <i>Slamming</i> .....	28
2.2.10.5. Kombinasi Beban <i>Slamming</i> dan Respon Struktur ( <i>Shear Force &amp;</i> <i>Bending Moment</i> ).....	29
2.2.11. Tegangan Ultimate .....	29
2.2.12. Desain ULS ( <i>Ultimate Limit State</i> ) .....	31
2.2.13. Metode Elemen Hingga dan <i>Software</i> yang Mengakomodasi .....	35
<b>BAB 3 METODA PENELITIAN</b> .....	39
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	39
3.2. Prosedur Penelitian .....	41
3.2.1. Studi Literatur .....	41
3.2.2. Pengumpulan Data .....	41
3.2.3. Pemodelan <i>Drillship</i> dan Validasi.....	41
3.2.4. Analisis RAO .....	41
3.2.5. Perhitungan Tekanan Struktur Akibat <i>Slamming</i> .....	42
3.2.6. Perhitungan Respon Struktur .....	42
3.2.7. Pemodelan Finite Element Methode .....	42
3.2.8. Analisis Hasil .....	42
3.2.9. Pembuatan Laporan.....	42
<b>BAB 4 ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	43
4.1. Analisis Data dan Permodelan .....	43
4.2. Analisis Perilaku Gerak <i>Drillship</i> Kondisi Transit .....	50
4.3. Analisis Perilaku Gerak Vertikal Haluan <i>Drillship</i> .....	52
4.4. Perhitungan Peluang, Intensitas dan Tekanan <i>Slamming</i> .....	64

4.5. Analisis Kekuatan Struktur <i>Drillship</i> .....	69
4.5.1. Pemodelan Desain dan Konstruksi <i>Drillship</i> .....	69
4.5.2. Analisis <i>Meshing</i> Sensitivitas Struktur Global.....	71
4.5.3. Pembebanna <i>Quasi-Statik</i> .....	78
4.5.4. Analisis Respons Struktur Ekstrem pada Gelombang Acak Metode <i>Quasi-Statik</i> .....	82
4.5.5. Analisis Struktur Global dengan <i>Finite Element</i> <i>Method</i> .....	84
4.5.6. Analisis Struktur Lokal Haluan dengan <i>Finite</i> <i>Element Method</i> .....	90
4.5.6.1. Pemodelan Struktur Lokal Haluan.....	91
4.5.6.2. Analisis <i>Meshing</i> Sensitivitas Struktur Lokal Haluan .....	91
4.5.6.3. Pembebanan pada Struktur Lokal Haluan .....	93
<b>BAB 5 : PENUTUP</b> .....	97
5.1. Kesimpulan .....	97
5.2. Saran.....	97
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	99

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. ABS (2005) <i>basic utilization factor</i> .....	32
Tabel 4.1. <i>Principal Dimension</i> .....	44
Tabel 4.2. Validasi model dengan data .....	46
Tabel 4.3. Distribusi beban total (LWT +DWT) .....	48
Tabel 4.4. RAO maksimal <i>drillship</i> arah <i>headseas</i> .....	52
Tabel 4.5. Hasil perhitungan analisa <i>slamming</i> , 7 knot .....	65
Tabel 4.6. Hasil perhitungan analisa <i>slamming</i> , 12 knot .....	65
Tabel 4.7. Hasil perhitungan analisa <i>slamming</i> , 13 knot .....	65
Tabel 4.8. Hasil perhitungan analisa <i>slamming</i> , 14 knot .....	66
Tabel 4.9. Karakteristik proses <i>meshing</i> sensitivity Global analisis.....	76
Tabel 4.10. Data Material struktur .....	77
Tabel 4.11. Perhitungan respons struktur ekstrem <i>station 39</i> dg spektra ITTC.....	83
Tabel 4.12. Hasil perhitungan untuk satu siklus dengan pin-roll.....	85
Tabel 4.13. Hasil analisa struktur global dengan kriterianya .....	86
Tabel 4.14. Karakteristik proses <i>meshing</i> sensitivity lokal analisis.....	90
Tabel 4.15. Tegangan akibat tekanan <i>slamming</i> .....	92
Tabel 4.16. Hasil analisa struktur lokal dengan kriterianya.....	93

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. <i>Aerial view of drillship during sea trials</i> (OTC, 2014).....	2
Gambar 1.2. Gambaran fenomena terjadinya <i>slamming</i> .....	3
Gambar 2.1. <i>Drillship “Stena Four”</i> (Kyhn, 2014).....	8
Gambar 2.2. Definisi gerakan haluan relatif .....	10
Gambar 2.3. Pola grafik RAO gerakan relatif vertikal haluan.....	11
Gambar 2.4. Bangunan laut bergerak di gelombang panjang .....	11
Gambar 2.5. Bangunan laut bergerak di gelombang pendek .....	12
Gambar 2.6. Variasi jenis momen pada <i>drillship</i> (a) <i>Positive Vertical Bending</i> (Sagging)(b) <i>Positive Horizontal Bending</i> (c) <i>Positive Transverse</i> <i>Bending</i> (d) <i>Positive Torsional Moment</i> .....	13
Gambar 2.7. Bentuk Umum Grafik Respons Gerakan Bangunan Apung (Djarmiko, 2012).....	20
Gambar 2.8. Hubungan tegangan regangan untuk baja lunak (Wahyudi, 1992) ...	30
Gambar 2.9. Pertimbangan desain struktur berdasarkan <i>Ultimate Limit State</i> (Paik, 2003) .....	34
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	39
Gambar 4.1. <i>Drillship</i> dengan displasemen 35000 ton (Putra, 2013).....	44
Gambar 4.2. <i>Drillship</i> dengan displasemen 3500 ton, tampak atas (Putra,2013) ..	45
Gambar 4.3. Hasil pemodelan dengan menggunakan “Hydrostar” .....	45
Gambar 4.4. Distribusi beban LWT <i>drillship</i> (Putra, 2013) .....	47
Gambar 4.5. Distribusi beban DWT <i>drillship</i> (Putra, 2013).....	47
Gambar 4.6. Distribusi beban total (LWT+DWT) <i>drillship</i> (Putra, 2013).....	49
Gambar 4.7. Kurva bonjean <i>drillship</i> 35000 ton.....	49
Gambar 4.8. RAO <i>heave drillship</i> dengan variasi kecepatan .....	50
Gambar 4.9. RAO <i>pitch drillship</i> dengan variasi kecepatan.....	51
Gambar 4.10. RAO gerak relatif vertikal haluan .....	52
Gambar 4.11. Grafik elevasi relatif vertikal haluan V=7 knot, Hs=3 m .....	53
Gambar 4.12. Grafik elevasi relatif vertikal haluan V=7 knot, Hs=7 m .....	54
Gambar 4.13. Grafik elevasi relatif vertikal haluan V=7 knot, Hs =11 m .....	54
Gambar 4.14. Grafik elevasi relatif vertikal haluan V=7 knot, Hs =13 m .....	54
Gambar 4.15. Grafik elevasi relatif vertikal haluan V=7 knot, Hs =15 m .....	55

Gambar 4.16. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=12$ knot, $H_s = 3$ m .....	55
Gambar 4.17. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=12$ knot, $H_s = 7$ m .....	56
Gambar 4.18. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=12$ knot, $H_s = 11$ m .....	56
Gambar 4.19. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=12$ knot, $H_s = 13$ m .....	56
Gambar 4.20. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=12$ knot, $H_s = 15$ m .....	57
Gambar 4.21. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=13$ knot, $H_s = 3$ m .....	57
Gambar 4.22. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=13$ knot, $H_s = 7$ m .....	57
Gambar 4.23. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=13$ knot, $H_s = 11$ m .....	58
Gambar 4.24. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=13$ knot, $H_s = 13$ m .....	58
Gambar 4.25. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=13$ knot, $H_s = 15$ m .....	58
Gambar 4.26. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=14$ knot, $H_s = 3$ m .....	59
Gambar 4.27. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=14$ knot, $H_s = 7$ m .....	59
Gambar 4.28. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=14$ knot, $H_s = 11$ m .....	59
Gambar 4.29. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=14$ knot, $H_s = 13$ m .....	60
Gambar 4.30. Grafik elevasi relatif vertikal haluan $V=14$ knot, $H_s = 15$ m .....	60
Gambar 4.31. <i>Spectra</i> Gelombang ISSC tiap $H_s$ .....	61
Gambar 4.32. Grafik <i>spectra respons</i> , 7 knot .....	62
Gambar 4.33. Grafik <i>spectra respons</i> , 12 knot .....	62
Gambar 4.34. Grafik <i>spectra respons</i> , 13 knot .....	63
Gambar 4.35. Grafik <i>spectra respons</i> , 14 knot .....	63
Gambar 4.36. Peluang terjadinya <i>slamming</i> untuk setiap variasi kecepatan .....	66
Gambar 4.37. Intensitas terjadinya <i>slamming</i> untuk setiap variasi kecepatan .....	67
Gambar 4.38. Tekanan <i>slamming</i> untuk setiap variasi kecepatan .....	68
Gambar 4.39. Pemodelan konstruksi <i>drillship, center frame</i> .....	69
Gambar 4.40. Pemodelan konstruksi stringer <i>longitudinal drillship</i> .....	69
Gambar 4.41. Pemodelan <i>frame</i> melintang .....	70
Gambar 4.42. <i>Frame Bulkhead</i> .....	70
Gambar 4.43. <i>Frame</i> daerah <i>moonpool</i> .....	70
Gambar 4.44. <i>Meshing</i> ukuran 3900 mm (jumlah elemen 1615) .....	71
Gambar 4.45. <i>Meshing</i> ukuran 1950 mm (jumlah elemen 1663) .....	71
Gambar 4.46. <i>Meshing</i> ukuran 975 mm (jumlah elemen 1607) .....	72
Gambar 4.47. <i>Meshing</i> ukuran 487.5 mm (jumlah elemen 1753) .....	72



Gambar 4.48. <i>Meshing</i> ukuran 243.75 mm (jumlah elemen 2045) .....	72
Gambar 4.49. <i>Meshing</i> ukuran 121.875 mm (jumlah elemen 3245) .....	73
Gambar 4.50. <i>Meshing</i> ukuran 60.9375 mm (jumlah elemen 7654) .....	73
Gambar 4.51. <i>Meshing</i> ukuran 30.46875 mm (jumlah elemen 25043) .....	73
Gambar 4.52. <i>Meshing</i> ukuran 15.234375 mm (jumlah elemen 88302) .....	74
Gambar 4.53. <i>Meshing</i> ukuran 7.6171 mm (Jumlah elemen 346928).....	74
Gambar 4.54. <i>Meshing</i> ukuran 3 mm (jumlah elemen 2114808) .....	74
Gambar 4.55. <i>Meshing</i> ukuran 2.6 mm (jumlah elemen 2820212) .....	75
Gambar 4.56. <i>Meshing</i> ukuran 2.59 mm (jumlah elemen 2840185 ) .....	75
Gambar 4.57. <i>Meshing</i> ukuran 2.58 mm (jumlah elemen 2864312) .....	75
Gambar 4.58. <i>Meshing</i> sensitivitas konvergen berdasarkan <i>output</i> (Von mises <i>stress</i> ) terhadap jumlah elemen .....	76
Gambar 4.59. RAO <i>shear force drillship</i> tiap <i>station</i> tanpa efek <i>slamming</i> .....	79
Gambar 4.60. RAO <i>bending moment drillship</i> tiap <i>station</i> tanpa efek <i>slamming</i> .	79
Gambar 4.61. RAO <i>shear force drillship</i> tiap <i>station</i> dengan efek <i>slamming</i> .....	80
Gambar 4.62. RAO <i>bending moment drillship</i> tiap <i>station</i> dg efek <i>slamming</i> .....	80
Gambar 4.63. Perbandingan RAO <i>shear force</i> efek <i>slamming</i> .....	81
Gambar 4.64. Perbandingan RAO <i>bending moment</i> efek <i>slamming</i> .....	81
Gambar 4.65. Perubahan kenaikan harga <i>shear force</i> terhadap Hs .....	84
Gambar 4.66. Perubahan kenaikan harga <i>bending moment</i> terhadap Hs .....	84
Gambar 4.67. Pembebanan untuk satu siklus gelombang.....	86
Gambar 4.68. Hasil analisis global <i>stress</i> terhadap <i>ultimate</i> .....	87
Gambar 4.69. Tampilan hasil analisa <i>Max. stress</i> struktur global dari Hs 3 sampai Hs 15 dengan bantuan ANSYS .....	87
Gambar 4.70. Tampilan hasil analisa <i>Max. strain</i> struktur global dari Hs 3 sampai Hs 15 dengan bantuan ANSYS .....	88
Gambar 4.71. Tampilan hasil analisis <i>Max. deformation</i> struktur global dari Hs 3 sampai Hs 15 dengan bantuan ANSYS .....	89
Gambar 4.72. Kondisi maksimal deformasi pada struktur global.....	90
Gambar 4.73. Model struktur lokal haluan <i>drillship</i> .....	91
Gambar 4.74. <i>Meshing</i> sensitivitas konvergen berdasarkan <i>output</i> (Von mises <i>stress</i> ) terhadap jumlah elemen struktur lokal haluan <i>drillship</i> .....	92

Gambar 4.75. <i>Meshing</i> struktur lokal haluan <i>drillship</i> ukuran 2.34375 mm .....	93
Gambar 4.76. Contoh hasil analisis struktur lokal haluan <i>drillship</i> .....	94
Gambar 4.77. Hasil analisis lokal <i>stress</i> haluan <i>drillship</i> terhadap <i>ultimate</i> .....	95
Gambar 4.78. Grafik <i>Stress-Strain</i> material struktur lokal haluan <i>drillship</i> .....	96

## DAFTAR PUSTAKA

- American Bureau of Shipping. 2010. Spectral-based Fatigue Analysis for Floating Production Storage and Offloading (FPSO) Installation. ABS Plaza, 16855 Northchase Drive, Houston. TX 77060. USA.
- American Bureau of Shipping. 2011. Drillship : Hull Structural Design and Analysis. ABS Plaza, 16855 Northchase Drive, Houston. TX 77060. USA
- Adnyani, L. P.2014., *Analisa Kekuatan Ultimate Hull Girder FPSO dengan Pendekatan Metode Elemen Hingga Nonlinear*. Tesis Program Studi Teknik Perancangan Bangunan Lepas Pantai, ITS, Surabaya. 2014.
- Arianto, S. 2014. *Studi Respons Struktur Memanjang Lambung pada Drillship Kelas Displasemen 35000 Ton akibat Beban Gelombang dengan Pendekatan Quasi-statis*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya. 2014
- Batra & Qin. 2008. Local Slamming Impact of Sandwich Composite Hulls. *Elsevier. Solids and Structures* 46, p. 2011-2035
- Bhattacharyya, Rameswar, 1978, *Dynamics of Marine Vehicles*, Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Chakrabarti. S.K.. (1987). *Hydrodynamics of Offshore Structures. Computational Mechanics Publications Southampton*. Boston. USA
- Djarmiko, E.B. 1992. *Hydro-Structural Studies on SWATH Type Vessels. Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy*. Department of Naval Architecture and Ocean Engineering. University of Glasgow. Scotlandia.
- Djarmiko, E.B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. ITS Press, Surabaya 2012.
- Djarmiko, E.B., Prastianto, R.W., Murtedjo,. M. dan Wardhana, W.2013. *Studi Komparasi Karakteristik Gerakan dan Operabilitas Semi-Submersible dengan Lambung Berkonfigurasi Persegi Empat*. Laporan Program Penelitian Laboratorium Dana BOPTN TA 2013.LPPM-ITS.
- Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. Melbourne: Cambridge University Press

- Hoque, M.E. & Leira, B.J. 2014. *Dynamic Response of Ship Hull due to Slamming*. Thesis of Norwegian University of Science and Technology. Department of Marine Technology. NTNU.
- Indiyono, P., 2004, *Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai*, SIC, Surabaya.
- Kyhn dkk. 2014. Underwater Noise Emissions from a *Drillship* In The Arctic. *Elsevier. Marine Pollution Bulletin*.
- Paik JK, Thayaballi AK. 2003. *Ultimate Limit State Design Of Steel Plated Structures*, John Wiley & Sons.
- Putra, F.C.P.P, Djatmiko, E.B. dan Murtedjo, M. *Evaluasi Aspek Slamming pada Perancangan Drillship Displasemen 35000 Ton*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya. 2013
- Rosis dkk. 2014. Hydroelastic Analysis of Hull Slamming Coupling Lattice Boltzmann and Finite Element Methods. *Elsevier. Computers and Structures* 138.p.24-35
- Senjanovic, Ivo., Malenica, Sime., Tomasevic, Stive. 2009. *Hydroelasticity of Large Container Ships*. *Marine Structures* 22 (2009) 287-314.
- Wahyudi, Laurentius dan Rahim, Sjahril A., 1992, *Metode Plastis: Analisis dan Desain*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Yilmaz. O.&A.I.. 1996. Hydrodynamic Design of Moored Floating Platforms. *Elsevier. Marine Structures*. 9. pp.545-75.
- Yuda, I.D.G.A.S, Djatmiko, E.B. dan Wardhana, W. 2013., *Evaluasi Aspek Gerakan dan Operabilitas dalam Perancangan Drillship dengan Displasemen 35000 Ton, Prosiding Seminar Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan, SENTA 2013*. Paper C-30, Surabaya, Des.
- Yunus, M. 2013. *Evaluasi Aspek Respon Struktur Global Akibat Beban Gelombang pada Perancangan Drillship Displasemen 35,000 Ton*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.

## BIODATA PENULIS



Mahasin Maulana Ahmad, dilahirkan di kota pudak Gresik (Jawa Timur) pada 04 Maret 1991 oleh dua pasangan yang juga berdarah Gresik, Ayah H. Saichan dan Ibu Rodliyah. Pendidikan formal yang ditempuh penulis adalah RAM 75 Miftahul Huda, MI Miftahul Huda, Mts Assa'adah I Sampurnan Bungah, SMA Assa'adah Sampurnan Bungah Gresik, lulus tahun 2009. Kemudian penulis melanjutkan studi S1 di jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis masuk ITS melalui seleksi PBSB, Program Beasiswa Santri Berprestasi dari Kementrian Agama RI. Syarat utama yang harus dipenuhi untuk mengikuti seleksi tersebut adalah penulis harus menyandang status santri. Jadi program beasiswa ini diikuti oleh seluruh pesantren yang ada di Indonesia. Selama perkuliahan, selain sibuk akademik penulis juga berkecimpung pada CSS MoRA ITS yakni *Community of Santri Scholar of Ministry of Religious Affair*, perkumpulan mahasiswa ITS penerima beasiswa kemenag tersebut. Berbagai kegiatan organisasi telah diikuti oleh penulis, pada tahun 2010 penulis bergabung dalam departemen PSDM Himatekla, disamping itu pada tahun yang sama penulis juga menjadi staff departemen PSDM CSS MoRA ITS. Kemudian pada tahun 2011 penulis menjadi ketua ABSEN (Abdi Pesantren) CSS MoRA ITS, dan masih banyak lagi pengalaman Organisasi yang dialami oleh penulis. Pada tahun 2010 penulis berhasil menjadi juara 2 MITC (*Marine Innovation and Technology Competition*) yang diadakan oleh BEM FTK ITS. Kemudian pada tahun 2013 penulis berhasil lulus dari Teknik Kelautan FTK ITS dilanjutkan mengabdikan ke pondok pesantren asal, yakni Pondok Pesantren Qomaruddin Bungah Gresik. Siap mengabdikan untuk diri sendiri, keluarga, pesantren dan bangsa Indonesia. Pada Tahun 2013 Penulis mendapatkan kesempatan untuk melanjutkan studi ke jenjang magister dengan beasiswa fresh graduate DIKTI. Penulis menyelesaikan studi Magister dalam waktu 3 semester dengan Judul Tesis “Studi Pengaruh *Slamming* Terhadap Kekuatan Struktur Global dan Lokal *Drillship* pada Kondisi *Transit*”.

No. HP : 085746313197

Facebook : Mahasin.maulana

Email: penthoel\_04@yahoo.com

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tingginya permintaan masyarakat akan bahan bakar minyak untuk kehidupan sehari-hari mengharuskan pemerintah terus mempertahankan kegiatan eksplorasi minyak dilaut. Dalam proses eksplorasi minyak dibutuhkan teknologi yang bisa menunjang berjalanya kegiatan eksplorasi tersebut. Dewasa ini, kegiatan eksplorasi sudah dialihkan ke perairan dalam, sehingga membutuhkan teknologi yang mencakup untuk kedalaman tertentu, diantara teknologi yang bisa dioperasikan untuk kegiatan eksplorasi laut dalam adalah TLP, *Semisubmersible*, *Drillship* dan FPSO. *Drillship* merupakan sebuah kapal yang mempunyai fungsi sebagai eksplorasi *offshore drilling* pada sumur minyak dan gas yang baru, sebagai *platform* untuk pemeliharaan sumur migas atau penyelesaian pekerjaan seperti instalasi casing dan *tubing* maupun *subsea tree*. Perlu diketahui *drillship* memiliki kemampuan drilling pada kedalaman lebih dari 2500 meter dan kemampuan dalam menghemat waktu untuk berlayar antar *oil fields* diseluruh dunia. Sehingga kapal perlu dirancang atau didesain sedemikian rupa supaya bisa menjangkau segala kondisi lingkungan. Hambatan yang biasanya dialami adalah gerakan relatif haluan yang berlebihan sehingga mengakibatkan terjadinya *slamming* dan *green water* (Putra, 2013).

*Slamming* merupakan sebuah fenomena yang terjadi akibat gelombang yang datang menghempas terhadap haluan kapal yang melewati sarat kapal tersebut atau dengan kata lain gerakan relatif vertikal haluan melampaui sarat air bagian haluan, serta akibat peluang kecepatan relatif vertikal haluan yang lebih besar dari kecepatan ambang batas *slamming*. Djatmiko 2005, mengatakan *slamming* adalah fenomena yang terjadi apabila dasar haluan naik melewati permukaan gelombang dan kemudian masuk kembali ke dalam air dengan kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati harga tertentu dan timbul hempasan. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap keselamatan struktur pada saat operasi dan juga kekuatan struktur *drillship*. Ge Wang (2002) *slamming* juga mungkin dapat mengakibatkan

takikan pada plat bagian haluan, *buckling* dan deformasi pada member pendukung struktur haluan.

Keuntungan utama penggunaan *drillship* dibanding TLP adalah *drillship* mudah berpindah tempat sesuai dengan titik *drilling* yg diinginkan. Untuk berpindah tempat, *drillship* harus menempuh jarak sedemikian hingga titik tertentu, sehingga dalam proses desain harus memperhatikan perilaku gerak *drillship* saat melakukan perpindahan tempat atau dalam artian perlu memperhatikan desain perilaku gerak struktur saat berkecepatan. Perpindahan *drillship* dari satu *drilling rig* ke *rig* yang lain inilah dinamakan *transit* dalam analisis ini.



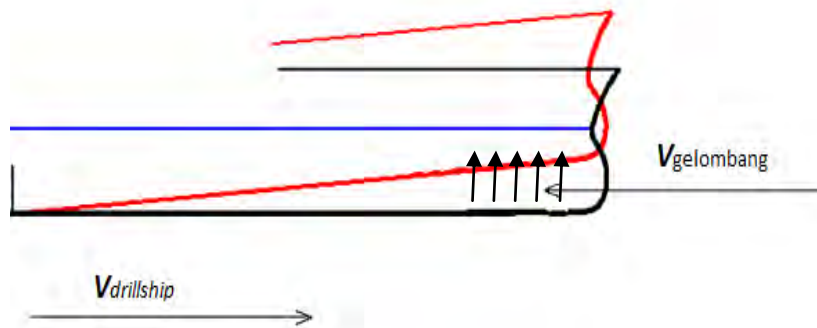
**Gambar 1.1.** *Aerial view of drillship during sea trials (OTC, 2014)*

*Drillship* dengan panjang lebih dari 100 meter mempunyai kemungkinan hampasan gelombang yang cukup tinggi dibagian haluan, hal ini akan semakin tinggi apabila kecepatan bertambah secara gradual. Sehingga *slamming* semakin sering terjadi, apalagi dengan gelombang-gelombang yang cukup besar. Berdasarkan informasi ini dipandang perlu untuk mengembangkan kemampuan untuk mengangkat studi karakteristik *slamming drillship* dan juga perlu dilakukan untuk melakukan analisis *Finite Element Method* pada struktur tersebut untuk mengetahui besarnya beban gelombang yang bisa diterima oleh struktur haluan hingga kekuatan *ultimate* struktur akibat adanya *slamming*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam analisa ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik gerakan relative vertikal *Drillship* akibat beban gelombang pada saat *transit*?
2. Berapa peluang, intensitas dan tekanan *slamming* pada *Drillship* akibat beban gelombang pada saat *transit*?
3. Bagaimana dampak kombinasi beban *shear force*, *bending moment* dan beban akibat tekanan *slamming* terhadap kekuatan *ultimate* struktur haluan?



**Gambar 1.2.** Gambaran fenomena terjadinya *slamming*

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam analisa ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik gerakan relative vertikal *drillship* akibat beban gelombang.
2. Mengetahui peluang, intensitas dan tekanan *slamming* pada *drillship* akibat beban gelombang.
3. Mengetahui dampak kombinasi beban *shear force*, *bending moment* dan beban akibat tekanan *slamming* terhadap kekuatan *ultimate* struktur haluan?



#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat analisis ini adalah adanya informasi tentang gerakan vertikal pada *drillship*, peluang dan intensitas terjadinya *slamming* di laut yang mempunyai gelombang besar serta tekanan akibat beban *slamming* dan juga bisa mengetahui besar beban gelombang yang bisa diterima oleh struktur haluan.

#### 1.5 Batasan Masalah

1. Struktur *drillship* diambil dari jurnal Yuda dkk pada tahun 2013 yang merupakan modifikasi dari *drillship* Oribis-One yang berdisplasemen 35000 ton (IADC/SPE, 2008)
2. Gerak *drillship* yang ditinjau adalah gerakan *heave* dan *pitch* dengan arah datang gelombang haluan.
3. Analisis dilakukan dengan memperhatikan variasi kecepatan dan tinggi gelombang signifikan.
4. *Drillship* dianggap sebagai *rigid body*, sehingga kekuatan dari *drillship* tidak diperhitungkan.
5. Beban yang bekerja pada plat yang ditinjau adalah ditambahkan beban akibat tekanan *slamming*.
6. Pembebanan untuk *drillship* diambil dari beban lingkungan diperairan tak terbatas, ABS (2010).
7. Distribusi massa di atas *drillship* dipertimbangkan dalam pemodelan.
8. Besar respons struktur *drillship* akibat beban gelombang yang dicari adalah *vertical shear force* dan *vertical bending moment*.
9. Pemodelan haluan kapal mengacu pada container ship (Senjanovic, 2009) dan kapal FSO “Ladinda” milik Kawasaki *ship building corporation*.
10. Beban yang dimasukkan pada penelitian ini adalah *vertical shear force* dan *vertical bending moment metode quasi-static*, beban merata pada *deck* sesuai dengan distribusi pembebanan *drillship* dan tekanan hidrostatik yang hanya bekerja pada dasar struktur.

11. Pemodelan lokal analisis menggunakan asumsi: salah satu *bulkhead* dijepit sedangkan *bulkhead* lainnya *free* dengan beban *shear force* dan *moment* bekerja pada *bulkhead* tersebut.

## **1.6 Sistematika Penulis**

Sistematika penulisan laporan penelitian ini dimulai dengan pendahuluan pada Bab Satu yang menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini. Selain itu, dalam bab ini juga akan dijelaskan manfaat yang dapat diperoleh, batasan masalah untuk membatasi analisa yang dilakukan dan sistematika penulisan laporan penelitian.

Dasar teori dan tinjauan pustaka yang menjadi sumber referensi dalam penelitian ini dijelaskan pada Bab Dua. Secara rinci bab ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian ini, dasar teori, persamaan dan code yang digunakan dalam penelitian dicantumkan dalam bab ini.

Bab Tiga pada penulisan laporan penelitian ini menerangkan tentang metodologi penelitian, beserta diagram alir (flowchart), yang digunakan untuk mengerjakan penelitian. Penjelasan pemodelan yang dilakukan dalam penelitian juga dicantumkan dalam bab ini.

Seluruh hasil analisis penelitian ini akan dibahas dan diterangkan pada Bab Empat. Bab ini akan membahas pengolahan data hasil dari output pemodelan hingga menghasilkan kesimpulan yang menjadi tujuan dari penelitian. Dimana kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut akan diterangkan pada Bab Lima.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BA B 2

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Pengetahuan tentang perilaku struktur terapung, termasuk *drillship* pada laut lepas adalah persyaratan dasar dalam pengembangan teknologi laut dalam yang berkelanjutan. Setiap tipe *platform* mempunyai karakteristik masing-masing. Karakteristik gerakan pada kapal (*drillship*) misalnya berbeda dengan karakteristik gerakan *Tension Leg Platform* (TLP) atau SPAR. Di sisi lain, laut lepas memiliki karakteristik lingkungan sendiri. Karena itu pengetahuan tentang perkiraan respon sebuah struktur pada suatu lingkungan tertentu sangatlah penting. Menurut Yilmaz dan Incecik (1994), dengan menghitung beban-beban lingkungan secara komprehensif akan diketahui respon struktur kapal. Umur kerja kapal tergantung pada respon gerakan struktur terhadap gelombang. Evaluasi terhadap kinerja kapal tergantung pada ketepatan dalam perhitungan respon gerakan yang bertujuan untuk mengetahui apakah kekuatan dan desain kapal dapat menahan beban dari gelombang yang ada pada lokasi perairan tertentu pada saat beroperasi. Analisis meliputi perhitungan pergerakan kapal untuk mendapatkan kekuatan memanjang struktur, yaitu gaya geser dan momen lengkung. Studi berupa analisis perhitungan pergerakan untuk mendapatkan kekuatan memanjang struktur *drillship* (*Shear force Bending Moment*) telah dilakukan oleh Yunus (2013) dengan metode statis, dilain hal metode quasi statis telah dilakukan oleh Arianto (2014).

Fenomena *slamming* sering terjadi pada kapal yang beroperasi di perairan yang memiliki gelombang cukup besar. Pentingnya analisis *slamming* dikarenakan bentuk haluan kapal yang curve dan besarnya beban gelombang selalu mengenai bagian depan kapal yakni haluan kapal. Untuk mengetahui besarnya beban gelombang yang mengenai struktur perlu dilakukan dengan pendekatan komputasional. Rosis, dkk (2014) melakukan analisis terhadap *compliant structure* dengan melakukan pendekatan komputasional *Finite Element Method* dan *lattice Boltzman*.

Batra & Qin (2008) melakukan analisis terhadap kapal untuk mengetahui efek *hydroelastic* saat deformasi *hull* saat mengalami *slamming* dengan mengembangkan model *hydroelastic* berdasarkan dua orde, yakni dengan menggunakan teori panel Sandwich dan teori dampak air Wagner untuk menganalisis interaksi fluida struktur saat mengalami fenomena *slamming*. Teori panel Sandwich menggabungkan gaya geser transversal dan deformasi transversal, sedangkan pemodelan pada permukaan struktur menggunakan teori lempeng Kirchhoff.

Berdasarkan analisis yang sudah ada yakni analisis kekuatan struktur pada kapal, maka penulis melakukan hal yang sama akan tetapi dengan objek yang berbeda yakni analisis kekuatan struktur haluan pada *drillship* dengan menggunakan pendekatan *computational*.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Drillship**



**Gambar 2.1.** *Drillship* “Stena Four” (Kyhn, 2014)

*Drillship* adalah kapal laut yang dilengkapi dengan *drilling apparatus* yang mempunyai beberapa fungsi diantaranya eksplorasi *offshore drilling* pada sumur minyak dan gas baru, sebagai *platform* untuk pemeliharaan sumur migas atau penyelesaian pekerjaan seperti instalasi *casing* dan *tubing* maupun *subseafloor*,

memiliki kemampuan *drilling* pada kedalaman air lebih dari 2500 meter dan kemampuan dalam menghemat waktu untuk berlayar antar *oil fields* di seluruh dunia.

## **2.2.2. Perilaku Gerak Bangunan Apung**

### **2.2.2.1. Gerakan *Couple Heave* dan *Pitch***

Berdasarkan Hukum Newton II, semua gaya yang bekerja pada sebuah benda (*strip*) adalah sama dengan perkalian antara massa strip terhadap percepatannya. Persamaan untuk *heaving* :

$$m \cdot \ddot{z} = \Sigma F \quad (2.1)$$

Persamaan untuk *pitching* :

$$I \cdot \ddot{\theta} = \Sigma M \quad (2.2)$$

dengan :

$\Sigma F$  = Total gaya fluida atau gaya eksternal.

$\Sigma M$  = Total moment gaya yang bekerja pada strip akibat gerak relatif terhadap gelombang.

Untuk menghitung elevasi bangunan apung terhadap MWL akibat *couple heaving* dan *pitching* maka digunakan teori strip, dimana sebuah benda terapung dibagi secara transversal menjadi beberapa bagian yang selanjutnya disebut sebagai strip. Adanya massa tambah pada suatu benda yang bergerak relatif terhadap fluida maka persamaan (2.1) diatas dapat ditulis kembali menjadi :

$$\Sigma F = (m + a_z) \ddot{z} \quad (2.3)$$

Dengan :

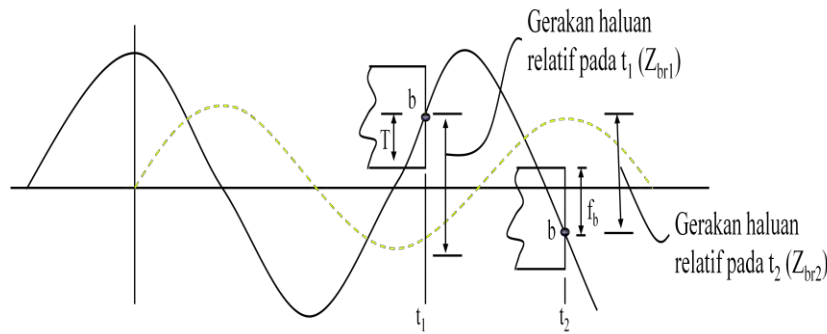
$m$  = massa strip dari kapal.

$a_z$  = massa tambah strip untuk gerakan *heaving*

Pergerakan dari massa strip dan massa tambah ke arah bawah akan mengakibatkan adanya reaksi perlawanan. Reaksi tersebut sering disebut dengan gaya tahan atau gaya redaman.

### 2.2.2.2. Gerak Relatif Vertikal Haluan

Studi tentang gerak relatif haluan merupakan bagian yang menarik dalam hal *seakeeping* pada kapal, karena dapat diprediksikan terjadinya air naik ke geladak atau *slamming* seperti ilustrasi pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Definisi gerakan haluan relatif

Hal tersebut ditentukan dari jarak vertikal antara permukaan gelombang pada satu titik di haluan ataupun buritan dengan garis air dalam rezim yang sama. Ketika amplitudo dan sudut fase dari gerak *heaving* dan *pitching* diketahui hubungannya dengan permukaan gelombang, maka gerak relatif haluan dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.4

$$Z_{br} = Z_b - \zeta_b \quad (2.4)$$

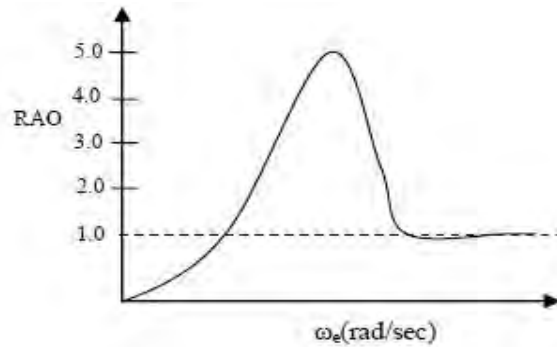
$$Z_{br} = (Z_{br})_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_{br}) \quad (2.5)$$

$$(Z_{br})_a = \sqrt{(Z_b)_a^2 + (a)^2 - 2(Z_b)_a \zeta_a \cos(k_e \xi - \varepsilon_b)} \quad (2.6)$$

$$tg \varepsilon_{br} = \frac{a \sin(k_e \xi) - (Z_b)_a \sin \varepsilon_b}{a \cos(k_e \xi) - (Z_b)_a \cos \varepsilon_b} \quad (2.7)$$

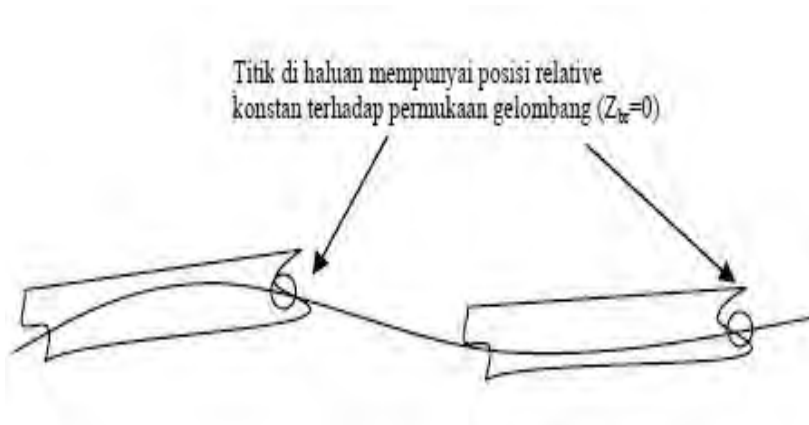
### 2.2.2.3. Karakteristik RAO Gerakan Relatif Vertikal Haluan

Lazimnya grafik RAO gerakan relatif vertikal haluan mempunyai bentuk sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Pola grafik RAO gerakan relatif vertikal haluan

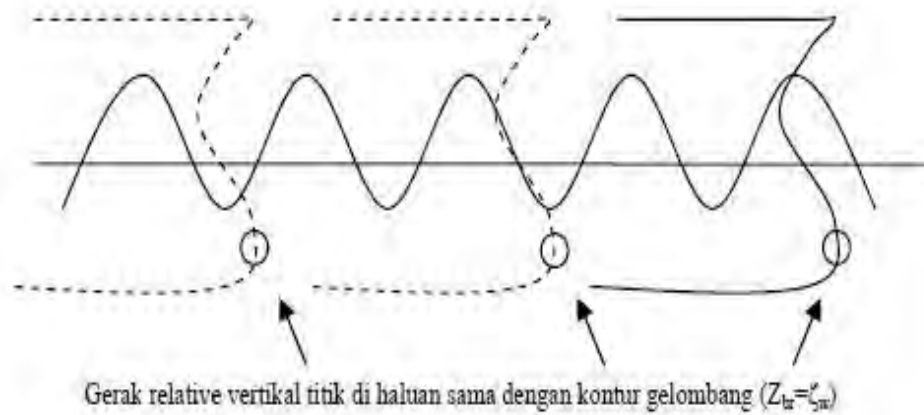
Grafik RAO gerakan relatif vertikal haluan lazimnya mempunyai pola yang berlawanan dengan grafik RAO gerakan *heave*. Pada frekuensi rendah RAO-Zbr mempunyai harga mendekati nol, dan naik bersamaan dengan kenaikan frekuensi sampai dengan puncaknya pada frekuensi alami gerakan vertikal, kemudian secara gradual menurun pada frekuensi tertentu (tinggi) harganya konstan sekitar 1.0 (*unity*).



**Gambar 2.4.** Bangunan laut bergerak di gelombang panjang



Pada frekuensi rendah (gelombang panjang) bangunan apung bergerak mengikuti gerakan gelombang (*conturing*), sehingga gerakan relatif vertikal titik-titik di haluan mempunyai gerakan sangat kecil saja (bahkan sering tidak bergerak) *relatife* terhadap permukaan gelombang. Sedangkan frekuensi tinggi (gelombang pendek) bangunan apung bergerak rata *platforming*, sehingga gerakan relatif haluan adalah sama dengan fluktuasi gelombang itu sendiri.

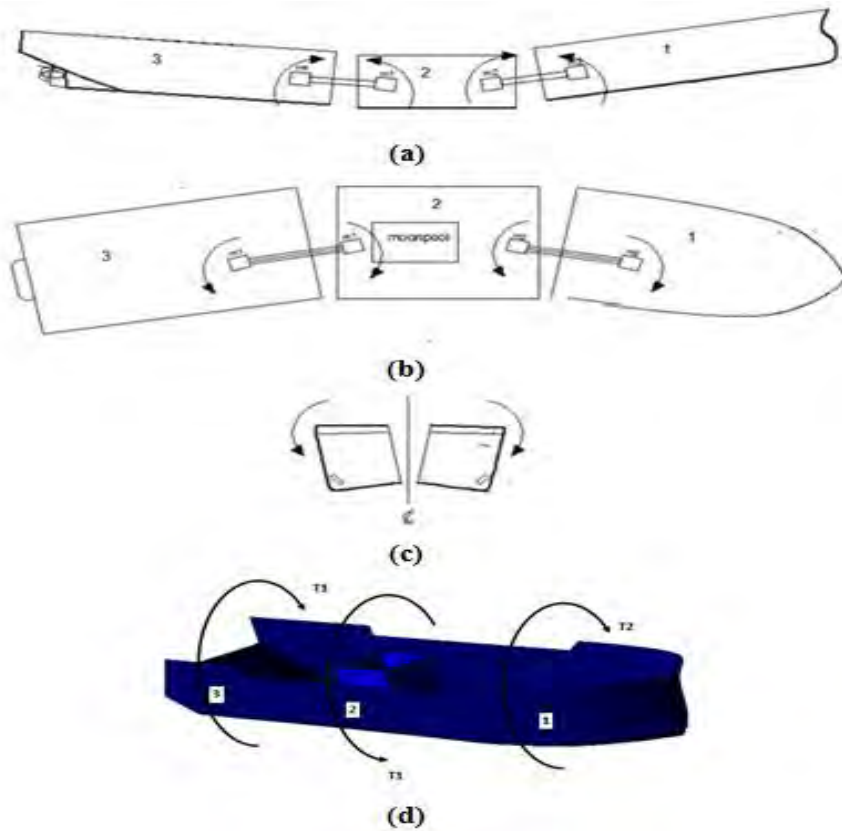


**Gambar 2.5.** Bangunan laut bergerak di gelombang pendek

### 2.2.3. *Shear Force* dan *Bending Moment*

Gaya *buoyancy* diambil dari gaya hidrodinamis total pada bagian kapal, efek dari gerakan kapal pada tekanan hidrodinamis diabaikan (Bhattacharyya, 1978). Gaya *buoyancy* dihitung dengan mengkombinasikan dengan gaya gravitasi pada bagian kapal untuk menghitung gaya *resultan*, yang diintegrasikan sepanjang kapal untuk menghasilkan gaya geser dan bending moment. *Bending moment* pada kapal dapat dibedakan menjadi 3 bagian, yaitu:

1. *Vertical bending moment*, menghasilkan defleksi pada sumbu y
2. *Horizontal bending moment*, menghasilkan defleksi pada sumbu z
3. *Transverse bending moment*, menghasilkan defleksi pada sumbu x



**Gambar 2.6.** Variasi jenis momen pada *drillship* (a) *Positive Vertical Bending (Sagging)* (b) *Positive Horizontal Bending* (c) *Positive Transverse Bending* (d) *Positive Torsional Moment*

*Horizontal bending moment* dapat disebabkan oleh gerakan *rolling* dan arah datang gelombang yang menyudut atau puncak gelombang berada pada satu sisi dari kapal dalam suatu *phase*. Beberapa eksperimen menunjukkan bahwa *horizontal bending moment* dan *vertical bending moment* memiliki besaran yang sama. Kecuali untuk kapal catamaran, kombinasi gaya *hydrostatic* dan hidrodinamis tidak menghasilkan *bending moment* secara signifikan pada bidang transversal. Tegangan resultan maksimum pada beberapa titik untuk menghitung *vertical* dan *horizontal bending moment* diberikan pada Persamaan 2.8.

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{M_V z}{I_V}\right)^2 + \left(\frac{M_H y}{I_H}\right)^2} \quad (2.8)$$

Dimana,

$M_V$  = *vertical bending moment*

$M_H$  = *horizontal bending moment*

$y$  = jarak dari sumbu  $z$  (*horizontal*)

$z$  = jarak dari sumbu  $y$  (*vertical*)

$I_V$  = *moment inersia* dari apda sumbu  $y$

$I_H$  = *moment inersia* pada sumbu  $z$

Masing-masing *bending moment* tersebut juga dapat dihitung dengan menjumlahkan ketiga komponen, yaitu:

1. Yang disebabkan oleh perbedaan distribusi dari berat dan *bouyancy* ketika berada di kondisi air tenang.
2. Yang disebabkan oleh gelombang yang mengenai kapal ketika air tenang.
3. Yang dipengaruhi oleh gelombang ketika berada di bawah laut bergelombang.

Ketiga komponen jika digabungkan bersama akan menghasilkan total bending moment, komponen kedua dan ketiga disebut *wave bending moment*. *Wave bending moment* dapat ditulis menjadi beberapa variasi komponen, yaitu:

- a. Beban karena perubahan distribusi volume bawah air, perubahan ini diakibatkan oleh gelombang yaitu gerakan *heaving* dan *pitching*.
- b. Beban karena efek *smith*, modifikasi dari tekanan air pada gelombang yang diakibatkan oleh pergerakan orbital dari partikel air.
- c. Beban karena gaya inersia, gaya ini sebagai fungsi dari *massa* kapal yang juga *added mass* sepanjang kapal.
- d. Beban karena gaya damping, gaya ini dapat dibedakan menjadi 2 komponen, yaitu: *wave damping* dan *viscous damping*.

*Bending moment* pada air tenang ketika kapal diam bergantung dari *arrangement* dan distribusi dari berat kapal. *Wave bending moment* bergantung pada *waterplane*, bagian *transversal*, *moment* dari berat, jari-jari girasi, kecepatan dan lainnya. Total *bending moment*  $M$  adalah penjumlahan dari dua jenis *bending moments* sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 2.9.

$$M = M_S + M_W \quad (2.9)$$

$M_S$  adalah *bending moment* pada kondisi air tenang dan  $M_W$  adalah *moment* yang disebabkan dari perbedaan distribusi *displacement* sepanjang kapal. *Bending moment* air tenang dapat ditemukan dengan perhitungan *static*, dimana *bending moment* gelombang  $M_W$  adalah fungsi dari bentuk kapal dan gelombang. *Bending moment* dapat ditulis sebagaimana Persamaan 2.10.

$$M_W = M_\zeta + M_z + M_\theta \quad (2.10)$$

Dimana  $M_\zeta$  adalah *moment* yang dihasilkan dari profil gelombang,  $M_z$  adalah *moment* yang dihasilkan oleh gerakan *heaving* dan  $M_\theta$  adalah *moment* yang dihasilkan oleh gerakan *pitching*.

#### 2.2.4. Teori 3D-Difraksi

Beban gelombang merupakan beban terbesar yang ditimbulkan oleh beban lingkungan pada bangunan lepas pantai (Indiyono, 2003). Perhitungan beban gelombang dapat direpresentasikan dengan perhitungan gaya gelombang. Dua pendekatan yang biasa digunakan adalah dengan menggunakan teori *difraksi* dan teori *morison*. Dalam tesis ini, teori yang tepat untuk menghitung gaya gelombang pada struktur *drillship* adalah menggunakan teori *difraksi*.

Dalam teori ini terdapat 2 (dua) komponen yang menyusun solusi gerakan pada benda terapung yang berukuran besar. Komponen yang pertama yaitu gaya yang didesak oleh badan kapal akibat gerakan yang dialami oleh kapal tersebut. Gaya ini kemudian dapat dibedakan menjadi 2 kontribusi, yaitu berkaitan dengan percepatan badan kapal (gaya *massa* tambah / *added mass force*) dan kontribusi lainnya berkaitan dengan kecepatan badan kapal (gaya redaman potensial / *potential damping force*). Penjumlahan dari dua gaya tersebut digunakan di sebelah kiri pada persamaan gerak, yang disebut juga sebagai masalah pemancaran gelombang (*radiation wave problem*).

Komponen yang ke dua disebut sebagai solusi gelombang berserak (*scattered wave solution*) dan komponen ini terkait dengan penentuan gaya pada benda terapung yang tetap dengan gelombang. Komponen ini berada di sebelah kanan persama gerak.

Kondisi yang dapat diterima untuk pemakaian teori difraksi ini bilamana suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar ( $D/\lambda > 0.2$ ), dimana  $D$  adalah dimensi kapal yang tegak lurus dengan datang gelombang dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang yang mengenai struktur, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang disekitarnya. Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang. Selain itu, perbandingan antara tinggi gelombang ( $H$ ) dengan panjang gelombangnya memenuhi  $H/\lambda < 1/7$ . Jika kedua kondisi di atas terpenuhi, maka perbandingan  $H/D$  kurang dari 1.

Berikut keadaan yang diasumsikan saat penggunaan teori difraksi:

1. Gerakan kapal di anggap kecil
2. Permukaan kapal yang tercelup diperhitungkan sesuai dengan keadaan ketika badan kapal berada di bawah bidang garis air saat itu juga.
3. *Response* kapal berbentuk linear, beban *harmonic* berdasarkan kejadian gelombang *sinusoidal* dengan *amplitude* yang kecil
4. Tekanan *fluida* yang diperoleh berdasarkan persamaan *Bernoulli* yang dilinearkan, dengan asumsi bahwa aliran gelombang *inviscid* dan tidak berputar, gerakan *fluidanya* didefinisikan sebagai kecepatan potensial.

Pada teori difraksi ini, digunakan Teori Penjumlahan Linear (*Linear Superposition Theorem*) untuk menghitung kecepatan potensial fluida, yaitu:

$$\phi(X, Y, Z) = \phi(X, Y, Z) e^{-i\omega t} \quad (2.11)$$

Nilai  $\Phi$  di atas sangat kompleks, dimana merupakan kontribusi dari dua komponen yang telah dijelaskan di atas.

Jumlah seluruh potensial akibat dari kejadian gelombang, pembelokan dan pemancaran gelombang dapat ditulis sebagai berikut:

$$\phi(X, Y, Z)e^{-i\omega t} = [(\phi_I + \phi_d) + \sum_{j=1}^6 \phi_j x_j]e^{-i\omega t} \quad (2.12)$$

Dimana:

$\phi_I$  adalah kejadian gelombang potensial

$\phi_d$  adalah gelombang potensial yang terdifraksi

$\phi_j$  adalah potensial akibat gerakan ke-j

$x_j$  adalah gerakan per amplitudo gelombang

$\omega$  adalah frekuensi gelombang

Nilai potensial yang tidak terganggu oleh kejadian gelombang pada titik (X,Y,Z) di daerah fluida diketahui dari persamaan berikut:

$$\phi_I = \frac{-ig \cosh [k(d+Z)] e^{ikt(X \cos \theta + Y \sin \theta)}}{\omega \cosh kd} \quad (2.13)$$

Dimana:

d adalah kedalaman perairan

k adalah *wave number*

$\theta$  adalah arah gelombang

Hubungan antara *wave number* 'k' dengan frekuensi angular „ $\omega$ “ sebagai berikut:

$$\omega^2 = gk \tanh(kd) \quad (2.14)$$

Setelah potensial diketahui, nilai tekanan hidrodinamik yang pertama dapat dihitung berdasarkan persamaan Bernoulli:

$$P = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (2.15)$$

Dari distribusi tekanan, bermacam-macam gaya fluida dapat diketahui dengan menggabungkan tekanan-tekanan permukaan yang berada di bawah air.

Karena gerakan kapal yang harmonik, persamaan gaya reaksi dapat ditulis sebagai berikut:

$$F_{ji} = -A_{ji} \ddot{x}_i - B_{ji} \dot{x}_i \quad (2.16)$$

Dimana,

$$A_{ji} = \frac{\rho}{\omega} \int_S \phi_i^{Im} n_j dS, \text{ Added Mass Coefficient}$$

$$B_{ji} = \rho \int_S \phi_i^{Re} n_j dS, \text{ Wave Damping Coefficient}$$

### 2.2.5. Tekanan Hidrostatik pada Kapal

Struktur terapung ketika berada didalam air tenang akan mengalami tekanan hidrostatis pada bagian yang tercelup air, yang bekerja tegak lurus pada permukaan struktur. Gaya mengakibatkan tekanan hidrostatik memiliki komponen vertikal, yang sama dengan gaya gravitasi yang bekerja pada pusat massa struktur. Dengan kata lain, struktur terapung yang bebas tanpa ditambat, memiliki gaya yang sama dengan berat *displacement* dari struktur (Chakrabarti, 2005).

Tekanan *hidrostatic* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$p = h \rho g \quad (2.17)$$

Dimana,

$p$  = tekanan (N/m<sup>2</sup>, Pa)

$h$  = kedalaman dimana tekanan dihitung (m).  $h$  dihitung dari permukaan air menuju ke kedalaman benda

$\rho$  = *density* air laut (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

### 2.2.6. RAO (*Respon Amplitude Operator*)

*Response Amplitude Operator* (RAO) atau disebut juga dengan *transfer function* merupakan fungsi respon gerakan struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan struktur. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan menggunakan Pers. 2.18.

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (2.18)$$

dengan :

$X_p(\omega)$  = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$  = amplitudo gelombang

Menurut Djatmiko (2012), respon gerakan RAO terbagi menjadi dua yaitu:

1. Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi yaitu *surge*, *sway*, dan *heave* ( $k=1, 2, 3$  atau  $x, y, z$ ), merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya disbanding dengan amplitudo gelombang (dalam satuan panjang). Persamaan untuk RAO gerakan translasi dapat dilihat pada Persamaan 2.19.

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} (m/m) \quad (2.19)$$

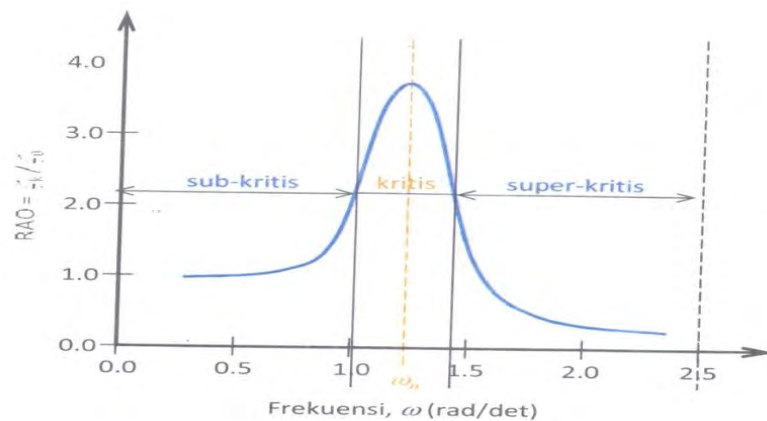
2. RAO untuk gerakan rotasi yaitu *roll*, *pitch*, dan *yaw* ( $k=4, 5, 6$  atau  $\theta, \phi, \psi$ ) adalah merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi dengan kemiringan gelombang (hasil kali antara angka gelombang dengan amplitudo gelombang insiden). Persamaan untuk RAO gerakan rotasi dapat dilihat pada Persamaan 2.20.



$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g)\zeta_0} (rad/rad) \quad (2.20)$$

Gambar 2.7 menggambarkan kurva respons gerakan bangunan apung, pada dasarnya respons gerakan bangunan apung dapat dibagi menjadi tiga bagian:

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan lautan akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang, sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau  $\omega^2 < k/(m+a)$ , gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan



**Gambar 2.7.** Bentuk Umum Grafik Respons Gerakan Bangunan Apung (Djarmiko, 2012)

- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni  $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.

- Ketiga adalah daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana  $\omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor massa.

#### 2.2.7. Respons Struktur dengan Pendekatan *Quasi-statis*

Hal yang membedakan antara perhitungan respon struktur statis dengan respon struktur *Quasi-statis* (dinamis) dalam penelitian ini adalah untuk pendekatan dalam perhitungan respon struktur statis nilai gaya tekan ke atas kapal di dapat pada saat kapal dalam keadaan diam, dengan  $\lambda_w$  adalah sama dengan panjang karakteristik kapal,  $L_{wl}$ , dan tingginya  $H$  sama dengan  $L_{wl}/20$  tanpa variasi periode. Sedangkan untuk perhitungan respon struktur dengan pendekatan *Quasi-statis* (dinamis), perhitungan dilakukan pada saat kapal bergerak kopel *heave pitch*, dengan tinggi gelombang unity (amplitudo =1), dan menggunakan variasi periode. Pemilihan tinggi gelombang unity dalam hal ini dimaksudkan untuk menjaga supaya kemiringan kapal dalam pengaruh gerakan kopel *heave pitch* tidak terlalu besar, sehingga dapat mengakibatkan nilai *shear force* dan *bending moment* yang jauh lebih besar dari kondisi yang sebenarnya kapal ini beroperasi. Dimana kapal pengebor ini akan beroperasi di kondisi perairan tertutup seperti Indonesia yang mempunyai tinggi gelombang yang tidak terlalu besar.

Dalam perhitungan respons struktur memanjang lambung kapal dengan pendekatan *Quasi-statis*, hasil respons gerak kapal dalam dua mode gerakan diambil sebelas frekuensi gelombang yang mempunyai interval 0.1. Dalam satu siklus, dilakukan 11 variasi periode dimana satu variasi periode dilakukan analisis respon struktur (gaya geser dan momen lengkung) yang terjadi pada setiap *station* dari kapal. Kemudian dilakukan pengeplotan *shear force* dan *bending moment* untuk semua

siklus atau sebelas frekuensi pada empat bagian kapal yaitu bagian seperempat AP, bagian *midship*, bagian *moonpool*, dan bagian seperempat FP untuk mendapatkan RAO *shear force* dan RAO *bending moment* tiap-tiap bagian tersebut.

Dari hasil RAO *shear force* dan *bending moment*, dilakukan analisa lebih lanjut untuk mendapatkan respons struktur ekstrim pada gelombang acak dengan menggunakan Persamaan 2.21.

$$\zeta_{\alpha} = 2\sqrt{m_o} \sqrt{\left\{ 2 \ln \left( \frac{60^2 T}{2\pi} \right) \sqrt{\frac{m_2}{m_o}} \right\}} \quad 2.21$$

Dimana T adalah waktu lamanya gelombang terjadi dalam jam. Beberapa referensi menyatakan bahwa T adalah waktu lamanya badai, yang dalam perancangan dapat ditetapkan sebesar 3.0 jam. Persamaan tersebut adalah harga yang paling mungkin terjadi dalam keseluruhan kejadian gelombang.

Untuk meningkatkan keyakinan pada keamanan struktur yang dirancang atau agar lebih konservatif lagi, perancang dapat menetapkan suatu harga peluang respons struktur ekstrem untuk terlampaui dengan nilai yang sangat kecil misal,  $\alpha = 1 \%$  atau 0.01. Dengan demikian, sebagai kebalikannya respons struktur ekstrem ini mempunyai tingkat keyakinan untuk tidak terlampaui sebesar  $(1 - \alpha)$

### 2.2.8. Spektrum Gelombang

Model matematik spektrum secara umum didasarkan pada satu atau lebih parameter, misalnya tinggi gelombang signifikan, periode gelombang, faktor permukaan, dan lain-lain. Spektrum parameter tunggal yang paling sering digunakan adalah model *Pierson-Moskowitz* (1964) yang berdasarkan pada tinggi gelombang signifikan atau kecepatan angin. Selain itu ada beberapa spektrum parameter ganda yang bisa digunakan adalah *Bretschneider* (1969), *Scott* (1965) dan *ITTC* (1964). Sedangkan spektrum *JONSWAP* merupakan spektrum yang menggunakan lima parameter, namun biasanya tiga diantaranya adalah konstan (Djarmiko, 2012).

Dalam analisis ini *drillship* dioperasikan diperairan tak terbatas dengan data ABS (2010), untuk analisis perairan tak terbatas maka dianjurkan untuk menggunakan spectra ITTC/ISSC 1975 sebagaimana Persamaan 2.22 berikut:

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{0.0081 \times g^2}{\omega^5} \times \exp\left(\frac{-3.11}{H_s^2 \times \omega^4}\right)$$

Dimana :

$g$  : Gravitasi ( $\text{kg/m}^3$ )

$H_s$  : Tinggi gelombang signifikan (m)

$S_{\zeta}(\omega)$  : Spektrum gelombang

$\omega$  : Frekuensi gelombang (rad/sec)

### 2.2.9. Respons Spektra

Respon spektra didefinisikan sebagai respon energi *density* pada struktur akibat gelombang, dalam hal ini berupa *energy density spectrum*. Pada sistem *linear*, respon spektra didapat dengan mengkuadratkan RAO yang kemudian dikalikan dengan spektra gelombang, yang secara persamaan ditulis dalam Persamaan 2.23.

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.23)$$

Dimana :

$S_R$  = spektrum respons ( $\text{m}^2/\text{rad/sec}$ )

$S(\omega)$  = spektrum gelombang ( $\text{m}^2/\text{rad/sec}$ )

$RAO(\omega)$  = transfer function

$\omega$  = frekuensi gelombang (rad/sec)

Memahami adanya perilaku bangunan laut di atas gelombang (*hogging* dan *sagging*) yang dapat mengakibatkan kegagalan struktur baik berupa kegagalan dalam bentuk kelelahan maupun kegagalan puncak atau *ultimate failure*, dan bahkan jika kondisi lautan atau *sea severity* semakin ganas maka kecenderungan kerusakan struktur global akan semakin parah. Oleh karenanya dilakukan penghitungan efek beban gelombang terhadap respons struktur. Pada prinsipnya formulasi dasar respons struktur adalah transformasi tekanan dinamis gelombang pada elemen-elemen struktur kapal, menjadi gaya-gaya dan momen internal, dengan memasukkan tekanan dinamis akibat pengaruh gerakan (Djarmiko, 2012).

## **2.2.10. Teori Slamming**

### **2.2.10.1 Wave Impact Load**

Beban *slamming* memiliki dampak yang sangat besar dalam desain struktur kapal. Kemungkinan terjadinya *slamming* ditemukan dengan mendefinisikan kecepatan ambang relatif dari terjadinya *slamming*. Untuk mengetahui lebih dalam tentang ambang batas terjadinya *slamming*, perlu untuk mempelajari model teoritis atau melakukan percobaan pada dampak air terhadap dek dan lambung struktur kapal dan juga perlu untuk mengembangkan kriteria rasional untuk batas operasional akibat *slamming*. Kriteria harus berkaitan dengan beban *slamming* yang digunakan dalam desain struktural yaitu respons struktur akibat *slamming*, Faltinsen (2005).

#### **2.2.10.1.1. Konsekuensi Akibat Slamming**

1. *Compressibility water*, yaitu fase akustik awal, biasanya untuk durasi waktu singkat.
2. *Air Cushion* / gelembung, yaitu rongga udara dapat terjebak dan berosilasi karena udara kompresibilitas (rongga berlebihan dalam sketsa). Relevan untuk  $\beta < 2-3$  deg.
3. *Hydro-elastisitas*, yaitu kopling masalah hidrodinamik dan struktural, relevan untuk  $\beta < 5$  derajat. dan ketika waktu pembukaan yang terkait dengan entri air kecil atau sebanding dengan periode basah alami struktur.

4. Kavitasi, yaitu ketika tekanan air lokal sama dengan tekanan uap dan cair menjadi gas. Hal ini dapat terjadi misalnya jika perilaku hidro-elastis karena dekat dengan permukaan bebas sehingga tekanan hidrostatik adalah kecil dan tekanan dapat berosilasi karena hydro-elastisitas dan menjadi lebih rendah dari tekanan uap.
5. Ventilasi, yaitu ketika tekanan air lokal masuk di bawah tekanan atmosfer dan udara tertarik antara struktur dan air. Hal ini dapat terjadi sehubungan dengan hidro elastisitas. Contoh lain dari kejadian adalah sehubungan dengan dampak asimetris dengan *vortex shedding* mengarah ke tinggi kecepatan lokal dan tekanan statis sangat rendah.

#### **2.2.10.1.2.    *Effect Slamming***

Penyebab *slamming* mengakibatkan efek lokal maupun global pada struktur. *Whipping* merupakan efek global akibat *slamming*. *Hydroelastis* penting untuk beban global dan juga memiliki beberapa efek lokal pada kasus tekanan *slamming* yang tinggi dalam durasi waktu singkat. Bila sudut yang terbentuk antara permukaan dan lambung permukaan bebas sangat kecil, maka dimungkinkan terjadi tekanan tinggi. Hydro-elastisitas berarti bahwa aliran fluida dan reaksi elastis struktur dianggap secara bersamaan dan saling interaksi, yaitu:

- Getaran elastis menyebabkan aliran *fluida* dengan bidang tekanan
- Media dinamis mempengaruhi getaran elastis struktural.

Dalam analisis struktural konvensional (tanpa hidro-elastisitas atau efek dinamis), pemuatan hidrodinamik dianggap sebagai struktur kaku. *Loading* diterapkan dalam cara kuasi-stabil ketika dihasilkan statis struktural elastis dan plastik deformasi dan tegangan dihitung. Solusi lengkap masalah hidrodinamik cukup kompleks dan pendekatan harus dilakukan. Untuk penyederhanaan kita dapat mengabaikan kompresibilitas air. Tampaknya sangat tinggi tekanan *slamming* tidak penting untuk baja dan aluminium struktur. Sebagai tinggi puncak tekanan dilokalisasi dalam ruang dan waktu. Gaya impuls yang penting bagi respon struktur.

### 2.2.10.2 Peluang *Slamming*

Dalam hal bangunan laut yang di operasikan acak, *slamming* akan terjadi bilamana dua syarat berikut terpenuhi :

- Dasar haluan naik melewati (emerge) gelombang, atau dengan kata lain gerakan relatif vertikal haluan melampaui sarat air bagian haluan, dan
- Kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati harga kecepatan ambang batas *slamming* atau *threshold velocity*. Perlu dicatat disini, efek *slamming* yang sebenarnya hanya terjadi apabila pada saat dasar haluan masuk kembali ke dalam air atau gelombang mempunyai kecepatan tertentu. Bilamana kecepatan terlalu rendah maka haluan dapat dikatakan hanya mencelup kembali ke dalam air, sehingga efek *slamming* atau hempasan tidak akan terasa. Dengan demikian peluang terjadinya *slamming* harus juga memenuhi dua syarat tersebut. Pertama, harus memperhitungkan peluang gerakan vertikal haluan relative lebih besar dari sarat air bagian haluan, atau secara matematis dituliskan dalam Persamaan 2.24.

$$\Pr(\text{haluan terangkat}) = \Pr (Z_{br} > T_b) = \text{eks} \left( -\frac{T_b^2}{2m_{ozbr}} \right) \quad (2.24)$$

Kedua, peluang kecepatan relatif vertikal haluan lebih besar dari kecepatan ambang batas *slamming* :

$$\Pr(\text{haluan terangkat}) = \Pr (V_{br} > V_{th}) = \text{eks} \left( -\frac{V_{br}^2}{2m_{oVbr}} \right) \quad (2.25)$$

dengan :

$Z_{br}$  : gerakan relatif vertikal haluan

$V_{br}$  : kecepatan relatif vertikal haluan

$T_b$  : sarat air di haluan (posisi *slamming* ditinjau)

$V_{th}$  : kecepatan ambang batas *slamming*

$m_{oZbr}$  :varian atau luasan di bawah spektra respons gerakan relative vertikal haluan

$m_{0Vbr}$  : varian atau luasan di bawah spektra respons kecepatan relatif vertikal haluan

$m_{0Vbr} = m_{2Zbr}$  : varian atau luasan di bawah spektra respons kecepatan relatif vertikal haluan

Dengan demikian peluang terjadinya *slamming* adalah kombinasi Persamaan 2.24 dan 2.25, yang dituliskan :

$$\Pr(\text{haluan terangkat}) = \Pr(Z_{br} > T_b \text{ dan } V_{br} > V_{th}) = \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right) \quad (2.26)$$

Kecepatan ambang batas atau *threshold velocity*, Tasai menyarankan harga  $V_{th} = 0.5$  m/dt sebagai harga rata-rata bila bangunan laut melaju dengan kecepatan sekitar  $F_n = 0.10$ . Bila kecepatan rendah ( $F_n = 0.005$ ) dapat di ambil  $V_{th} = 0.775$  m/dt, atau bila kecepatan lebih tinggi ( $F_n = 0.145$ ) dapat diambil  $V_{th} = 0.20$  m/dt.

Dalam analisis *slamming*  $m_{0Zbr}$  dan  $m_{0Vbr}$  dapat diperoleh dengan melakukan analisis *spectra respons* gerakan (dan kecepatan) relatif vertikal haluan, yakni dengan terlebih dahulu melakukan komputasi RAO  $Z_{br}$  dan  $V_{br}$ .

### 2.2.10.3. Intensitas Slamming

Intensitas *slamming* per satuan waktu dapat dihitung memakai persamaan berikut.

$$N_{slam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \Pr(\text{slam}) \quad 1/det \quad (2.27)$$

atau

$$N_{slam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right) \quad 1/det \quad (2.28)$$

atau



$$N_{slam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} x \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2Zbr}}\right) 1/det \quad (2.29)$$

Bilamana ingin diketahui jumlah kejadian *slamming* dalam waktu operasi tertentu ( $T_0$  jam), maka dapat dihitung dengan modifikasi Persamaan 2.28 atau 2.29.

$$N_{slam}(T_0 \text{ jam}) = \frac{3600 \times T_0}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} x \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2Zbr}}\right) 1/det \quad (2.30)$$

#### 2.2.10.4. Tekanan *Slamming*

Besarnya tekanan yang terjadi pada dasar kapal di haluan akibat adanya *slamming* dapat dihitung dengan mempertimbangkan kecepatan relatif vertikal haluan *ekstrem*  $V_{br}$ , yaitu :

$$P_s = \frac{1}{2} \rho k V_{br}^2 \text{ (kPa)} \quad (2.31)$$

Dimana  $\rho$  adalah massa jenis air laut, k koefisien *slamming* (=9.0 rata-rata). Kecepatan relatif vertikal haluan *ekstrem*  $V_{br}$  dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_{br} = \sqrt{2x \ln \left\{ \frac{3600 \times T_0}{2\pi} \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2Zbr}}\right) \right\} \sqrt{\frac{m_{2Vbr}}{m_{0Vbr}}} x \sqrt{m_{0Vbr}}} \text{ (m/dt)} \quad (2.32)$$

atau

$$V_{br} = 2x \ln \left\{ \frac{3600 \times T_0}{2\pi} \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2Zbr}}\right) \right\} \sqrt{\frac{m_{4Vbr}}{m_{2Vbr}}} x \sqrt{m_{2Vbr}} \text{ (m/dt)}^2 \quad (2.33)$$

Sehingga tekanan akibat *slamming* menjadi :

$$p_s = \rho k \times \ln \left\{ \frac{3600 T_0}{2\pi} \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2Zbr}}\right) \right\} \sqrt{\frac{m_{4Zbr}}{m_{2Zbr}}} \times m_{2Zbr} \text{ (kPa)} \quad (2.34)$$

Faktor keamanan  $k$  (1% atau 5%) dapat dimasukkan ke dalam persamaan (2.34) untuk menjamin besarnya harga *slamming* supaya tidak terlampaui (sebesar 99% atau 95%).

#### 2.2.10.5. Kombinasi Beban *Slamming* dan Respon Struktur (*SF & BM*)

Seperti yang dijelaskan pada subbab sebelumnya bahwa *slamming* adalah tekanan yang mengenai sebuah profil dengan luasan tertentu seperti dijelaskan pada Persamaan 2.35.

$$F = \int P dA \quad (2.35)$$

Dengan:

$F$  = gaya akibat *slamming*

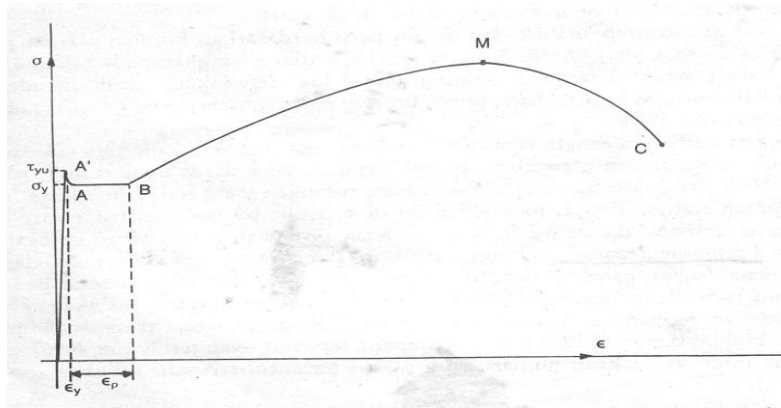
$P$  = tekanan *slamming*

$A$  = area yang terdampak *slamming*  $m^2$

Persamaan 2.35 menjelaskan bahwa apabila tekanan diintegrasikan terhadap profil yang ditinjau pada haluan *drillship* maka akan didapatkan gaya lokal pada *drillship* terhadap luas area yang ditinjau.

#### 2.2.11. Tegangan *Ultimate*

Suatu batang yang terbuat dari baja lunak ditarik oleh gaya aksial tertentu pada kondisi temperatur ruang, dapat digambarkan suatu diagram yang menyatakan hubungan tegangan regangan yang terjadi. Regangan (*strain*) menyatakan besarnya perubahan panjang, dilambangkan dengan  $\epsilon$ . Tegangan (*stress*),  $\sigma$ , menyatakan gaya per luas satuan yang bekerja pada penampang tersebut.



**Gambar 2.8.** Hubungan tegangan regangan untuk baja lunak (Wahyudi, 1992)

Daerah pertama, OA, merupakan garis lurus dan menyatakan daerah *linear elastis*. Kemiringan garis ini menyatakan besarnya modulus elastis atau disebut juga *Modulus Young, E*. Diagram tegangan-regangan untuk baja lunak umumnya memiliki titik leleh atas (*upper yield point*),  $\sigma_{yu}$ , dan daerah leleh datar. Tegangan pada titik A disebut sebagai tegangan leleh. Apabila regangannya terus bertambah hingga melampaui harga ini, regangannya tidak bertambah, maka sifat dalam daerah AB ini disebut sebagai plastis. Daerah BC merupakan daerah *strain hardening*, dimana perubahan regangan akan diikuti dengan sedikit pertambahan tegangan. Hubungan tegangan-regangan bersifat tak *linear*. Di titik M, tegangannya mencapai nilai maksimum yang disebut sebagai tegangan tarik *ultimate (ultimate tensile strength)*. Sedangkan pada titik C material putus.

Pada umumnya, jika suatu struktur mencapai kondisi keruntuhan, akan dipenuhilah tiga keadaan berikut (Wahyudi, 1992):

- a) Kondisi Leleh (*yield condition*)
- b) Kondisi keseimbangan (*equilibrium condition*)
- c) Kondisi mekanisme (*mechanism condition*)

Kondisi leleh merupakan pernyataan dari sifat deformasi plastis, di mana pada saat runtuh, momen dalam dari suatu struktur tidak ada yang melampaui kapasitas momen plastisnya.

Kondisi keseimbangan menghendaki bahwa momen lentur dalam harus seimbang dengan momen luar yang bekerja. Persamaan momen ini akan identik dengan persamaan momen elastis. Selanjutnya, kondisi mekanisme akan terjadi bila jumlah sendi plastis dalam struktur telah cukup untuk mengubah sebagian atau seluruh struktur tersebut ke dalam kondisi mekanisme keruntuhannya. Ketiga kondisi diatas merupakan syarat dasar dari beberapa teorema berikut ini:

1. Teorema Batas Bawah
2. Teorema Batas Atas
3. Teorema Unik

Untuk mencari nilai *ultimate* dari struktur, maka perlu diberikan beban sedikit demi sedikit atau kenaikan beban secara kontinyu sampai salah satu member akan runtuh. Beban terakhir yang akan menyebabkan keruntuhan adalah beban *ultimate* yang mampu disangga oleh struktur tersebut.

Menurut ISSC (2006), kekuatan *ultimate* dari member dan sistem struktur adalah ukuran sebenarnya dalam penilaian kekuatan, yang berarti bahwa kekuatan *ultimate* adalah kapasitas maksimal yang dapat dimiliki struktur. Tidak ada penambahan beban yang dapat dibawa melebihi kekuatan *ultimate*. Dibawah kombinasi beban umum, *Buckling* dan *yielding* mendominasi kekuatan *ultimate* ketika tegangan tarik dominan.

*Health and Safety Executive* (2001) menjelaskan bahwa penyebab kegagalan dari struktur adalah bertambahnya beban yang berlebih (*overload*). Dengan adanya beban yang semakin bertambah maka menyebabkan struktur *collapse*.

#### **2.2.12. Desain ULS (*Ultimate Limit State*)**

*ABS Buckling and Ultimate Strength Assesment for Offshore Structure* (2004) menyediakan beberapa kriteria yang bisa digunakan untuk menghitung *ultimate strength*, kriteria tersebut adalah :

- a. *Individual structural member.*
- b. *Plates, stiffened panels and corrugated panels.*
- c. *Stiffened cylindrical shells.*

d. *Tubular joints*

Untuk mengetahui kekuatan *ultimate* struktur terhadap beban yang bekerja maka dilakukan pembebanan sampai struktur tersebut mengalami tegangan melewati nilai UTS. ABS (2005) menyatakan nilai *basic utilization factor* untuk kondisi Untuk mengetahui kekuatan *ultimate* struktur terhadap beban yang bekerja maka dilakukan pembebanan sampai struktur tersebut mengalami tegangan melewati nilai UTS. ABS (2005) menyatakan nilai *basic utilization factor* untuk kondisi lingkungan ekstrem adalah 0.8. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1

**Tabel 2.1.** ABS (2005) *basic utilization factor*

<i>Load Condition</i>	<i>Environmental Events</i>	<i>Basic Utilization</i>
<i>Loadout</i>	<i>Calm</i>	<i>0.6</i>
<i>Ocean Transit</i>	<i>10-year-return storm for</i>	<i>0.8</i>
<i>Field Transit</i>	<i>1-year-return storm for</i>	<i>0.8</i>
<i>Deck Installation</i>	<i>Calm</i>	<i>0.6</i>
<i>In-placeDesign</i>	<i>1-year-return storm</i>	<i>0.6</i>
<i>In-placeDesign</i>	<i>100-year-return storm at</i>	<i>0.8</i>
<i>In-place Damage</i>	<i>1-year-return storm</i>	<i>0.8</i>

Maka, struktur dianggap sudah mengalami kegagalan apabila mengalami tegangan sebesar  $0.8 \times \text{UTS}$ . Sehingga untuk mengetahui nilai beban puncak (*ultimate load*) yang mampu diterima struktur maka beban dinaikkan bertahap hingga struktur mengalami kegagalan, yaitu melewati nilai UTS.

Konsep untuk *limit state design* digunakan dalam penilaian berdasarkan (Paik, 2003):

- ULS : *Ultimate Limit States* – perilaku kekuatan *ultimate*
- FLS : *Fatigue Limit States* – perilaku *fatigue* dan kepecahan

- SLS : *Serviceability Limit States* – displacement dan defleksi
- ALS : *Accidental Limit States* – kebakaran, benda jatuh, dan lain-lain.

Kriteria desain struktur untuk ULS didasarkan pada keruntuhan plastis atau kekuatan *ultimate*. Titik A adalah kekuatan tekuk komponen. Titik B adalah kekuatan *ultimate* yang sebenarnya, yang bisa lebih tinggi meskipun tidak dapat ditentukan secara pasti karena kekuatan *ultimate* aktual tidak dapat dihitung secara langsung.

Batas aman dari struktur dicari dengan membandingkan kekuatan *ultimate* dengan efek beban ekstrim. Untuk menentukan struktur yang aman dan ekonomis, kapasitas beban *ultimate* yang dibawa atau beban desain harus dihitung secara akurat.

Desain ULS dari struktur pelat baja, variabel dasar yang mempengaruhi karakteristik pembebanan, yaitu properti material dan parameter geometri harus ditentukan terlebih dahulu. Cara atau model sederhana untuk menghitung efek pembebanan dan kapasitas beban yang dibawa harus ditentukan. Untuk menghitung efek pembebanan dan kekautan *ultimate*, disesuaikan dengan fungsi ULS,  $G$ , yang diberikan dari persamaan (2.36) sebagai fungsi *variable* dasar,  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

$$G(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (2.36)$$

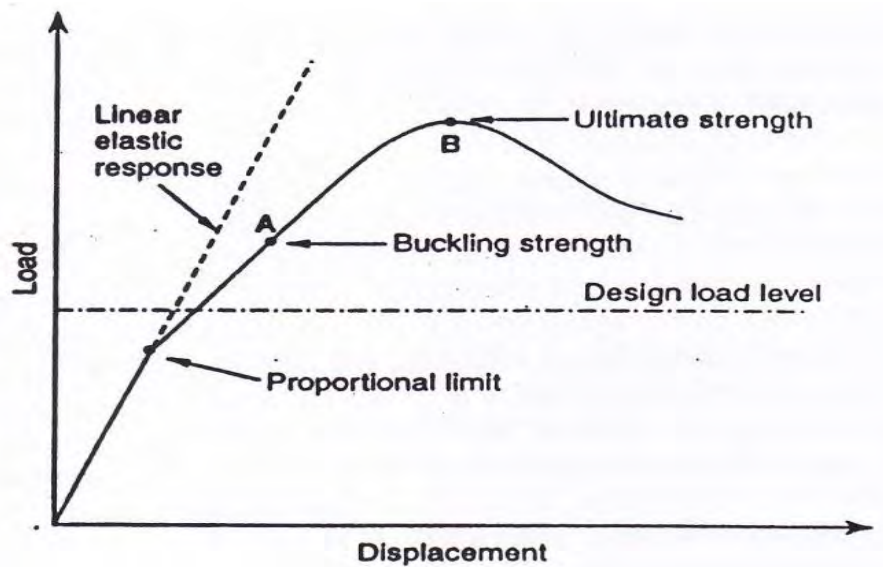
Ketika  $G = 0$ , struktur berada dalam kondisi yang diinginkan. Model selalu memiliki ketidakpastian karena berbagai alasan. Model perhitungan adalah fungsi dari *variable* random,

$$Y_m = Y(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.37)$$

Dimana  $Y_m$  = nilai yang dihitung dari model,  $Y$  = fungsi model,  $x_1$  = *variable* random. Sepanjang *variable* random tidak pasti, fungsi model  $Y_m$  tidak akan *exact* dan akan selalu *error*. Solusi *exact*,  $Y_o$ , permasalahan dapat ditulis:

$$Y_o = Y^*(x_1, x_2, \dots, x_n, \delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n) \quad (2.38)$$

Dimana  $\delta 1$  = *variable* random yang berhubungan dengan ketidakpastian model,  $Y^*$  = fungsi *exact*.



**Gambar 2.9.** Pertimbangan desain struktur berdasarkan *Ultimate Limit State* (Paik, 2003)

Persamaan (2.38) *property statistic* dari  $\delta 1$  umumnya dihitung dari eksperimen dan observasi. Untuk model kekuatan *ultimate*, rata-rata dari  $\delta 1$  dapat dihitung sebagai nilai rerata yang diprediksi menghasilkan test yang benar.

2 tipe format desain ULS yang biasa digunakan (ISO 2394, 1998) adalah:

- Format desain *probabilistic* langsung
- Format factor keamanan parsial.

Model kombinasi pelat beam untuk struktur pelat baja memiliki berbagai jenis tipe pembebanan seperti *axial compression/tension*, beban terpusat, distribusi beban *lateral* dan *moment*. Distribusi beban *lateral* yang bekerja pada pelat umumnya diasumsikan sebagai beban garis  $q = pb$  (perkalian dari tekanan *lateral* merata dan lebar pelat penuh antar *support*), diasumsikan bahwa *stiffener web* menahan semua *shear forces* yang disebabkan oleh distribusi beban *lateral*.

Struktur member satu dimensi seperti model kombinasi pelat *beam* disebut kolom jika terkena *axial compression*, sedangkan disebut *beam* jika terkena beban lateral atau *moment* ujung yang menyebabkan terjadinya *bending* dari awal pembebanan. Perilaku member struktur umumnya tergantung dari variasi beberapa factor, seperti property geometri/material, karakteristik pembebanan, *initial imperfections*, *boundary conditions* dan lainnya. Ada 3 mode kegagalan untuk pelat berpenegar, yaitu kolom atau *beam* kolom, *lateral torsional buckling* dan *web Buckling*. Kolom atau *beam* kolom akan runtuh jika beban mencapai beban *ultimate*. Kekuatan *ultimate* sesungguhnya dari kombinasi pelat berpenegar akan dihitung sebagai nilai terendah dari beberapa variasi beban *ultimate* yang diperhitungkan untuk pola potensi kegagalan, umumnya untuk tipe keruntuhan *beam* kolom, *lateral torsional buckling*, dan *stiffener web buckling*.

### 2.2.13. Metode Elemen Hingga dan Software yang Mengakomodasi

Metode elemen hingga adalah salah satu pendekatan yang paling berharga untuk menganalisa perilaku struktur. Ada beberapa metode yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan kekakuan elemen hingga.

Dalam mekanika struktur, permasalahan linear terjadi ketika matrik kekakuan dihitung berdasarkan geometri dan properties material. Pada kasus *nonlinear* adalah ketika matrik kekakuan bervariasi terhadap kenaikan beban yang bekerja dan dimana vektor beban bergantung pada *displacement*. Untuk analisa elemen hingga dari permasalahan yang bergantung waktu diekspresikan dengan dalam Persamaan 2.39.

$$[R] = [K] \{U\} \quad 2.39$$

Dimana:

$[R]$  = *vector* beban

$[K]$  = matrik kekakuan

$\{U\}$  = *vector displacement*



Baik  $[R]$  dan  $[K]$ , keduanya independen dari  $\{U\}$  pada analisis linear, sedang  $[R]$  dan  $[K]$  adalah fungsi *nonlinear* pada  $\{U\}$  pada analisis *nonlinear*. Kenonlinearan pada mekanika struktur biasanya dibagi menjadi 2 kelas, kenonlinearan geometri dan kenonlinearan material, yang keduanya akan mempengaruhi deformasi struktur. Kenonlinearan geometri dilihat dari perubahan konfigurasi geometri (seperti defleksi atau *Buckling* yang besar) dan kenonlinearan material dilihat dari perubahan properties material (seperti plastisitas). Pada transfer panas, kenonlinearan dapat meningkat terhadap suhu, tergantung dari konduktivitas atau radiasi, dimana kekakuan matriks adalah fungsi *nonlinear* terhadap suhu.

Seperti yang disampaikan di atas,  $[R]$  adalah fungsi yang *nonlinear* yang perlu dihitung. Seperti halnya pada permasalahan 1 dimensi, dimana pegas *nonlinear* di bawah beban  $P$ , nilai kekakuan dari pegas *nonlinear* dapat ditulis dengan  $k$  yang terdiri dari  $k_0$  dan  $k_N$  sebagai pernyataan konstan, dan berikutnya adalah fungsi dari *displacement*. Persamaan kekakuan *nonlinear* dapat ditulis:

$$P = (k_0 + k_N) u \quad 2.40$$

*Ansys* adalah sebuah *software* analisis elemen hingga (*finite element*) yang biasa dipakai untuk melakukan analisis mekanika benda tegar, analisis *fluida*, dan analisis perpindahan panas. Salah satu jenis *ansys* yang khusus menganalisis benda tegar yang berada di dalam *fluida* adalah *ansys AQWA*. *Ansys AQWA* merupakan perangkat lunak analisis rekayasa yang digunakan untuk penyelidikan efek gelombang, angin dan struktur lepas pantai, sistem FSO, *semi-submersible* dan masih banyak lagi. *Ansys AQWA* terdiri dari tiga bagian yang mempunyai ciri masing-masing yaitu *Ansys AQWA Diffraction*, *Ansys AQWA Suite* dan *Ansys AQWA Suite with Coupled Cable Dynamics*. *Ansys AQWA* menyediakan fasilitas interpretasi hasil dari manipulasi, meliputi:

- Statistik interpretasi data time-series seperti gerakan kapal dan mooring tensions untuk mendapatkan nilai-nilai puncak.

- *Time-history filter* yang menyediakan akses cepat ke dasar data seperti komponen frekuensi dan redaman kritis.
- Aljabar fungsi dan kombinasi hasil yang menyediakan kerangka user-defined untuk interpretasi hasil.

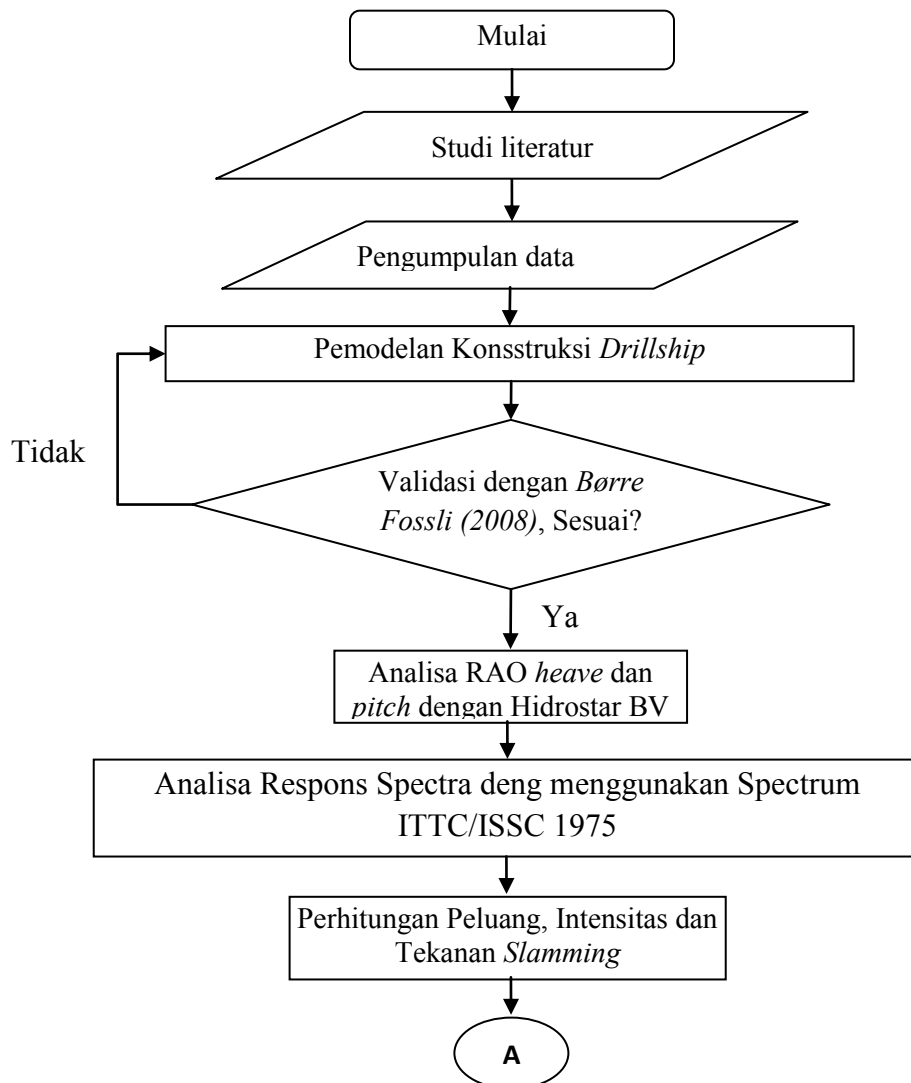
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 3

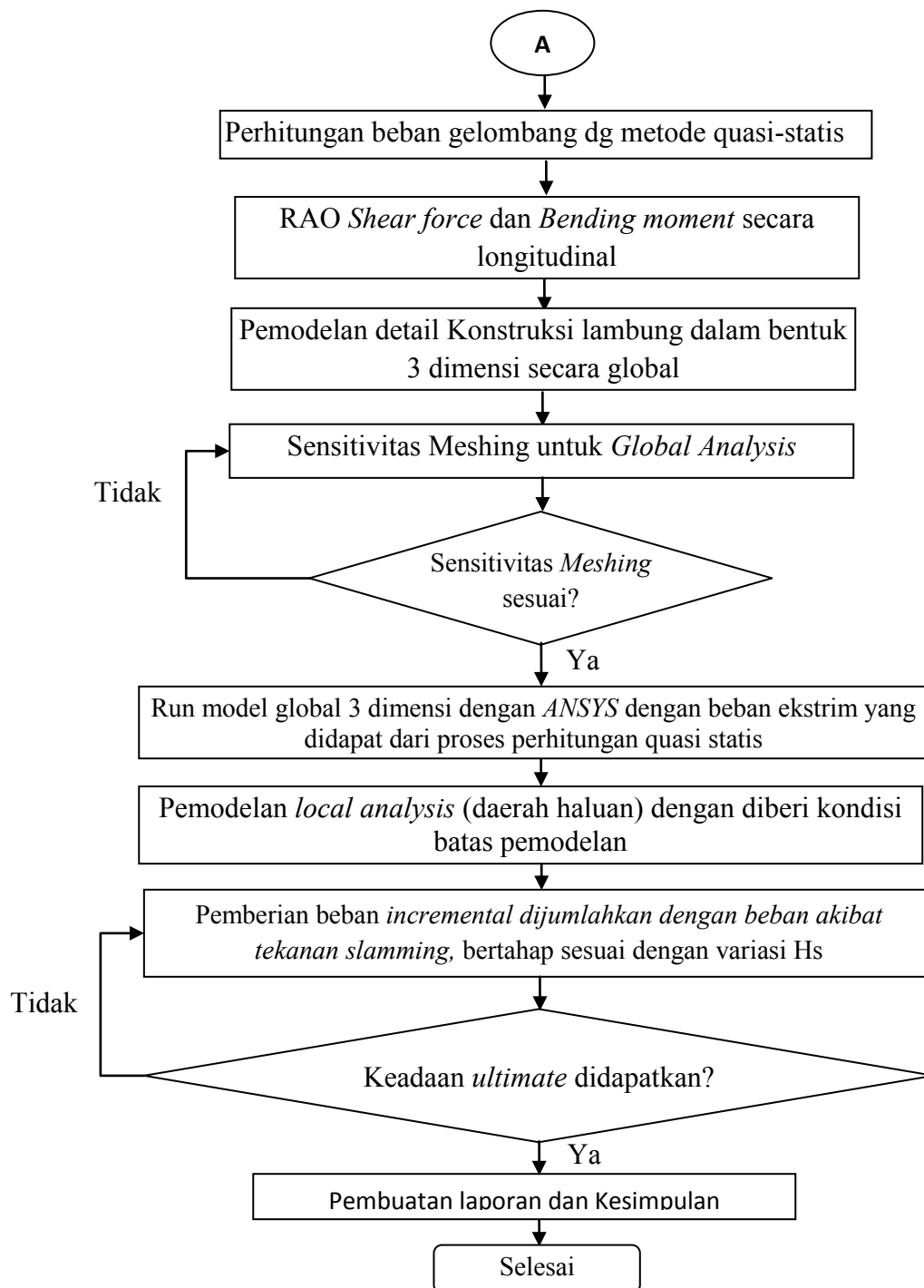
### METODA PENELITIAN

Dalam bab ini akan dijelaskan tahap-tahap yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan di dalam penelitian ini, metode-metode penyelesaian dengan mengacu pada Bab II, serta peranti lunak yang digunakan. Isi dari bab ini meliputi, diagram alir pelaksanaan penelitian serta penjelasan dari tiap-tiap tahap.

#### 3.1. Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1.** Diagram alir penelitian



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian (lanjutan)

## **3.2 Prosedur Penelitian**

### **3.2.1 Studi Literatur**

Mempelajari buku, diktat, jurnal laporan tugas akhir ataupun laporan thesis terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang sama atau hampir sama dengan tugas akhir ini. Literatur digunakan sebagai acuan ataupun referensi tesis.

### **3.2.2 Pengumpulan Data**

Data yang digunakan dalam analisa adalah data struktur, data lingkungan tempat struktur beroperasi. Data struktur drillingship yang digunakan adalah mengacu pada *drillship* yang diambil dari jurnal Yuda dkk pada tahun 2013 yang merupakan modifikasi dari *drillship* Oribis-One yang berdisplasemen 35000 ton (IADC/SPE, 2008).

### **3.2.3 Pemodelan *Drillship* dan Validasi**

Dalam analisa ini, pemodelan struktur *drillship* dilakukan dengan dua tahap, yakni pemodelan dengan menggunakan bantuan HYDROSTAR yang sudah license. Setelah dilakukan pemodelan dengan bantuan perangkat lunak tersebut, maka dilakukan validasi struktur yang mengacu pada *drillship* oribis yang sudah dilakukan Yuda dkk pada tahun 2013 tersebut. Validasi model dengan data disini berfungsi untuk mengetahui apakah model tersebut layak untuk dilanjutkan ke analisa tahap selanjutnya.

### **3.2.4 Analisis RAO**

Pada tahap ini dilakukan analisis RAO *drillship*, dengan memasukkan pemodelan *drillship* dan juga data lingkungan ke dalam perangkat lunak moses kemudian running, maka kita dapat mengetahui besar RAO struktur tersebut.

### **3.2.5 Perhitungan Tekanan Struktur Akibat *slamming***

Setelah didapatkan RAO struktur, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan tekanan struktur akibat *slamming* yang terjadi pada *drillship* tersebut.

### **3.2.6 Perhitungan Respon Struktur**

Perhitungan respon struktur dilakukan ketika harga RAO struktur sudah diketahui serta besarnya gaya yang bekerja pada struktur juga sudah diketahui. Dengan mempertimbangkan beban lingkungan, dalam hal ini adalah beban gelombang dan dengan menambahkan beban *slamming* yang terjadi pada struktur, maka respons struktur dapat diketahui dengan menggunakan formulasi jonswap untuk daerah perairan Indonesia.

### **3.2.7 Pemodelan *Finite Element Methode***

Setelah diketahui besar kemungkinan *slamming* yang terjadi pada haluan struktur dan juga besar tekanan maksimal yang terjadi pada haluan struktur akibat terjadinya *slamming*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis *Finite Element Methode* pada *drillship* tersebut, untuk mengetahui tekanan maksimal yang terjadi pada haluan *drillship* akibat terjadinya *slamming*.

### **3.2.8 Analisis Hasil**

Dalam tahap ini dilakukan proses penarikan kesimpulan untuk menjawab permasalahan yang dianalisis diatas. Yakni, karakteristik gerakan relative vertikal *drillship*, peluang, intensitas dan tekanan *slamming* pada *drillship*, besar tegangan yang terjadi pada struktur haluan dan juga mengetahui beban gelombang yang bisa diterima oleh struktur haluan hingga kekuatan *ultimate*.

### **3.2.9 Pembuatan Laporan**

Tahap terakhir dalam analisi ini adalah pembuatan laporan, dimana hasil dari analisi diatur sedemikian rupa sehingga semua permasalahan bisa terjawab dan pembaca bisa memahami laporan.

## **BAB 4**

### **ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan tentang hasil analisis yang didapat dari perhitungan dan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak HYDROSTAR yang dikeluarkan oleh "Bureau Veritas" dan juga dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS sesuai dengan metodologi penelitian untuk mencapai tujuan dari penelitian. Simulasi dilakukan pada objek *drillship* 35000 ton dengan memperhitungkan gerakan *heave* dan *pitch* untuk arah datang gelombang *headseas* dan juga dengan memvariasikan kecepatan *drillship* serta tinggi gelombang signifikan yang diberikan. Dalam analisis ini variasi kecepatan yang diberikan adalah 7, 12, 13 dan 14 knot sedangkan variasi untuk tinggi gelombangnya adalah dengan meninjau tinggi gelombang signifikan rendah hingga pada saat mengalami tinggi gelombang signifikan tinggi yakni 3, 7, 11, 13 dan 15 m. Pembahasan pertama dilakukan dengan analisis perilaku gerak *drillship* yakni gerakan *heave* dan *pitch*. Dilanjutkan dengan pembahasan kedua yakni tentang respons yang terjadi pada *drillship* sehingga diperoleh peluang, intensitas serta tekanan *slamming* yang terjadi kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisis terhadap kekuatan struktur baik itu global maupun lokal *drillship* dengan bantuan perangkat lunak Ansys. Untuk lebih jelasnya tentang hasil analisis pengaruh *slamming* terhadap kekuatan struktur *drillship* bisa dilihat dalam sub bab berikut.

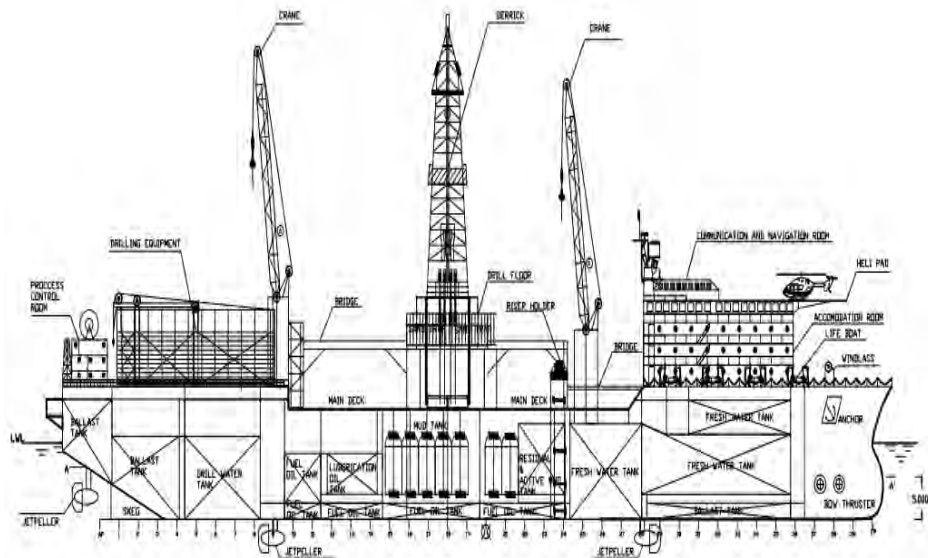
#### **4.1. Analisis Data dan Permodelan**

Dalam analisis ini, data struktur *drillship* yang digunakan adalah mengacu pada *drillship* yang diambil dari penelitian Putra dkk pada tahun 2013 yang merupakan modifikasi dari *drillship* Oribis-One yang berdisplasemen 35000 ton (IADC/SPE, 2008). Lebih lengkapnya tentang data tersebut bisa dilihat dalam Tabel 4.1.



**Tabel 4.1. Principal Dimension**

Parameter	Data	Hydrostar	Difference (%)
Displacement (ton)	35,193.0	35,421.7	0.65
$L_{pp}$ (m)	156.0	156.0	0.00
$B$ (m)	29.9	29.9	0.00
$H$ (m)	15.6	15.6	0.00
$T$ (m)	9.0	9.0	0.00
$LCB$ to Midship (m)	3.265	3.270	0.15
$LCF$ to Midship (m)	-7.203	-7.164	0.54
$KM_T$ (m)	13.29	13.33	0.30
$KM_L$ (m)	222.82	223.21	0.17
$BM_T$ (m)	8.64	8.68	0.41
$BM_L$ (m)	218.17	218.55	0.18



**Gambar 4.1. Drillship** dengan displasemen 35000 ton (Putra, 2013)



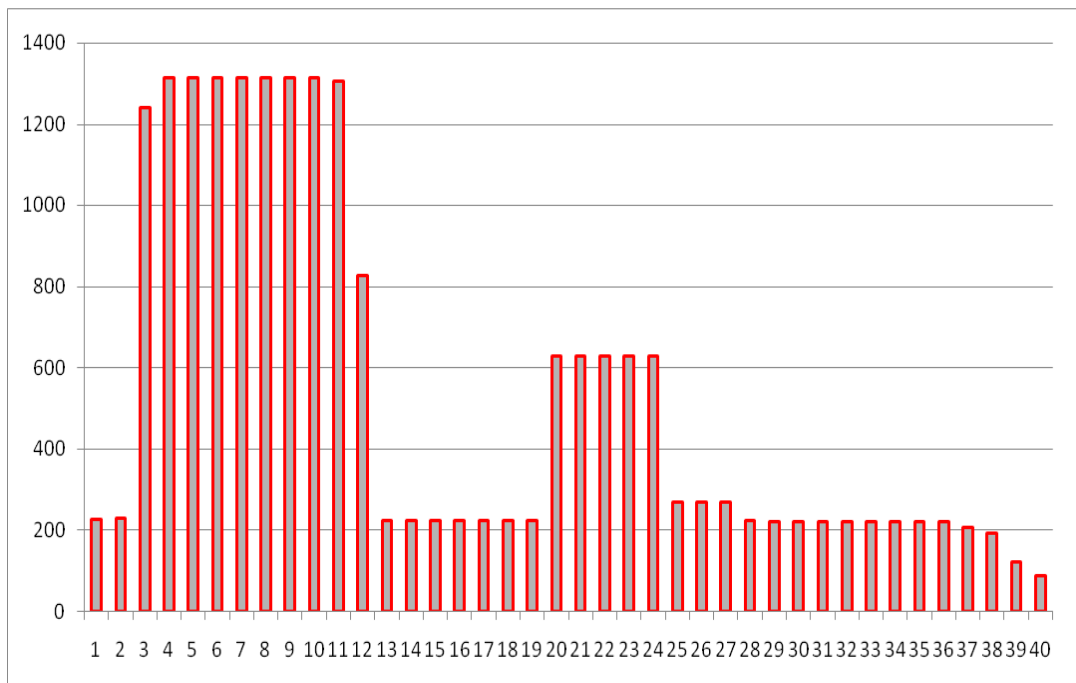
Setelah didapatkan model *drillship* diatas, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengecekan atau validasi model terhadap data yang ada, yakni dengan memperhatikan displasemen dari data *drillship* dengan hasil permodelan menggunakan bantuan “hydrostar”.

**Tabel 4.2.** Validasi model dengan data

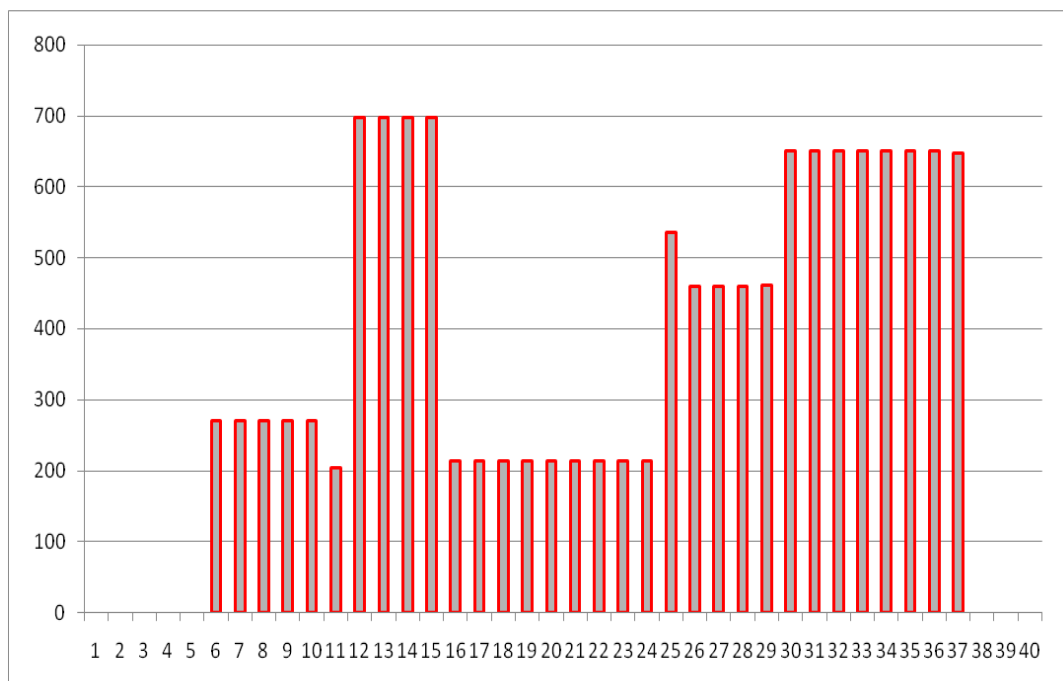
<i>Parameter</i>	<i>Design</i>	<i>Hydro Check</i>	<i>Difference (%)</i>
Displacement (ton)	35,193.0	35,421.7	0.65
$L_{pp}$ (m)	156.0	156.0	0.00
$B$ (m)	29.9	29.9	0.00
$H$ (m)	15.6	15.6	0.00
$T$ (m)	9.0	9.0	0.00
LCB to Midship (m)	3.265	3.270	0.15
LCF to Midship (m)	-7.203	-7.164	0.54
$KM_T$ (m)	13.29	13.33	0.30
$KM_L$ (m)	222.82	223.21	0.17
$BM_T$ (m)	8.64	8.68	0.41
$BM_L$ (m)	218.17	218.55	0.18

Berdasarkan hasil validasi yang dilakukan hydrostar terhadap data yang ada dapat dilihat bahwa hasil permodelan dengan hydrostar sudah memenuhi kriteria validasi, sehingga bisa dilakukan analisis ke tahap selanjutnya.

Untuk kepentingan analisis struktur, maka data tabel distribusi beban di setiap *station* sangat dibutuhkan. Berikut data distribusi beban setiap *station* dari AP sampai FP.



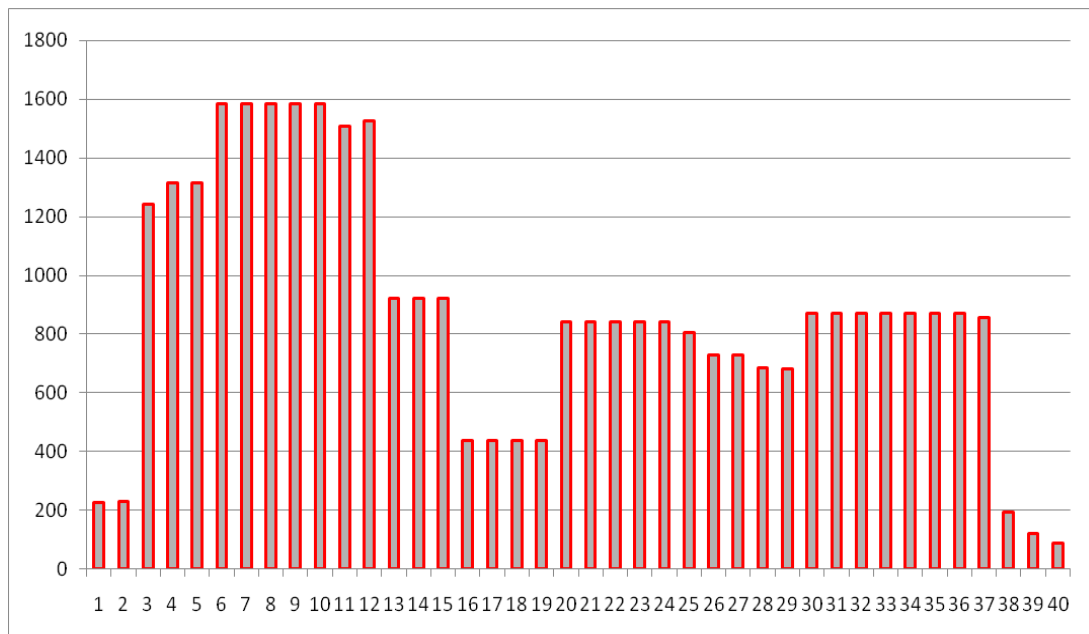
**Gambar 4.4.** Distribusi beban LWT *drillship* (Putra, 2013)



**Gambar 4.5.** Distribusi beban DWT *drillship* (Putra, 2013)

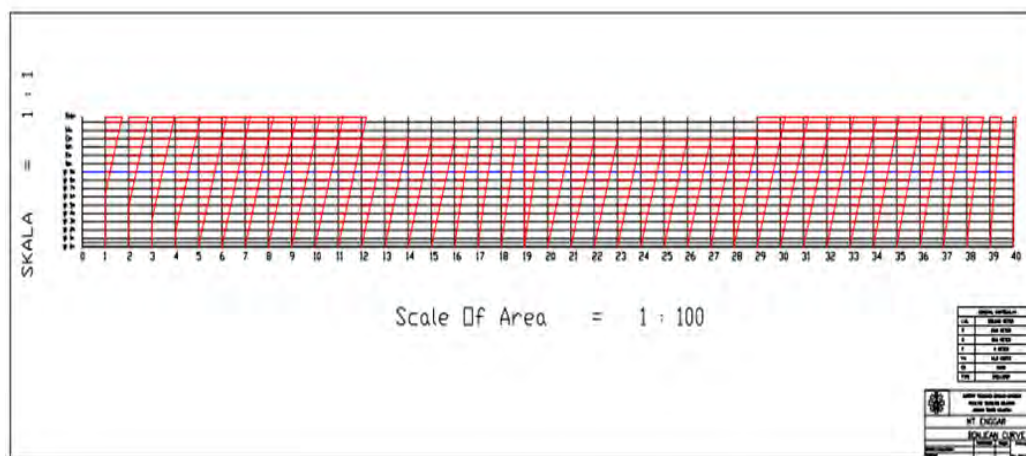
**Tabel 4.3.** Distribusi beban total (LWT +DWT)

No.	Station			LWT (ton)	DWT (ton)	Displasemen (ton)
1	AP	-	1	227.1417	0	227.141682
2	1	-	2	230.0647	0	230.064718
3	2	-	3	1241.641	0	1241.6407
4	3	-	4	1314.953	0	1314.953
5	4	-	5	1314.953	0	1314.953
6	5	-	6	1314.953	270	1584.953
7	6	-	7	1314.953	270	1584.953
8	7	-	8	1314.953	270	1584.953
9	8	-	9	1314.953	270	1584.953
10	9	-	10	1314.953	270	1584.953
11	10	-	11	1305.953	204.2755	1510.2285
12	11	-	12	828.0289	698.4255	1526.4544
13	12	-	13	223.85	698.4255	922.2755
14	13	-	14	223.85	698.4255	922.2755
15	14	-	15	223.85	698.4255	922.2755
16	15	-	16	223.85	213.2755	437.1255
17	16	-	17	223.85	213.2755	437.1255
18	17	-	18	223.85	213.2755	437.1255
19	18	-	19	223.85	213.2755	437.1255
20	19	-	20	629.05	213.2755	842.3255
21	20	-	21	629.05	213.2755	842.3255
22	21	-	22	629.05	213.2755	842.3255
23	22	-	23	629.05	213.2755	842.3255
24	23	-	24	629.05	213.2755	842.3255
25	24	-	25	268.85	536.143	804.993
26	25	-	26	268.85	459.45	728.3
27	26	-	27	268.85	459.45	728.3
28	27	-	28	223.85	459.45	683.3
29	28	-	29	220.85	461.65	682.5
30	29	-	30	220.827	650.4714	871.29843
31	30	-	31	220.827	650.4714	871.29843
32	31	-	32	220.827	650.4714	871.29843
33	32	-	33	220.827	650.4714	871.29843
34	33	-	34	220.827	650.4714	871.29843
35	34	-	35	220.827	650.4714	871.29843
36	35	-	36	220.927	650.4714	871.39843
37	36	-	37	207.3129	648.3	855.6129
38	37	-	38	193.1611	0	193.1611
39	38	-	39	120.487	0	120.487
40	39	-	FP	87	0	87
Jumlah						35000.00001



**Gambar 4.6.** Distribusi beban total (LWT+DWT) *drillship* (Putra, 2013)

Distribusi beban diatas diperoleh dari penelitian Putra (2013), untuk kepentingan analisa kekuatan struktur global, maka data distribusi beban tersebut digunakan untuk membebani struktur pada setiap *station*nya. Sedangkan untuk analisa pengaruh *slamming* maka dengan menambahkan tekanan akibat *slamming* pada *drillship* tersebut.

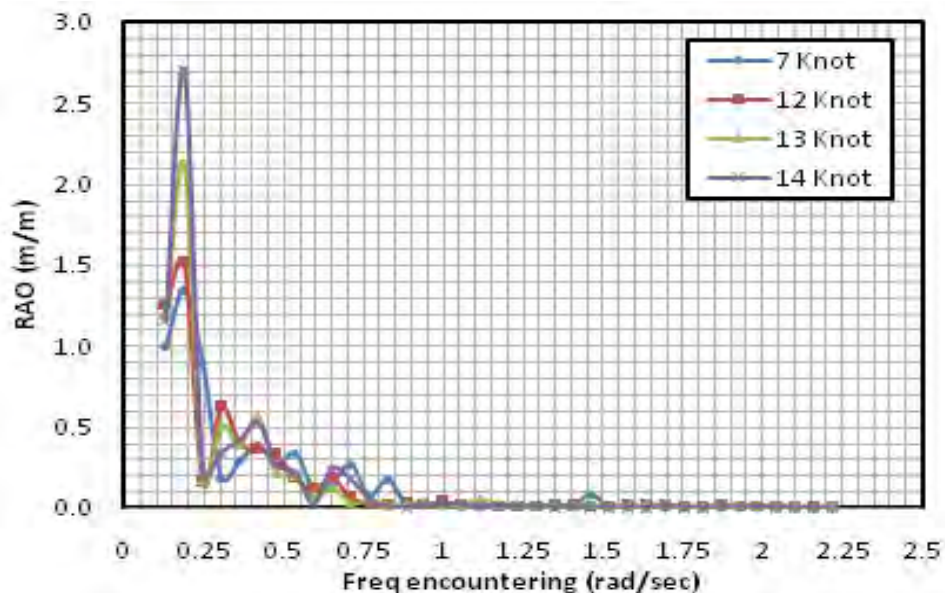


**Gambar 4.7** Kurva bonjean *drillship* 35000 ton

Nilai Kurva *bonjean* merupakan nilai daya apung pada tiap station. Nilai grafik distribusi beban total merupakan beban yang berlawanan dengan daya apung. Relativitas *Motion* dan elevasi gelombang sangat berpengaruh terhadap kurva *bonjean*, karena perpotongan kurva *bonjean* dengan bentuk gelombang menunjukkan daya apung kapal. Sebagai gambaran, apabila daya apung lebih kecil daripada nilai beban pada station tertentu, maka kapal akan kekurangan daya apung. Keadaan ekstrimnya kapal akan tenggelam.

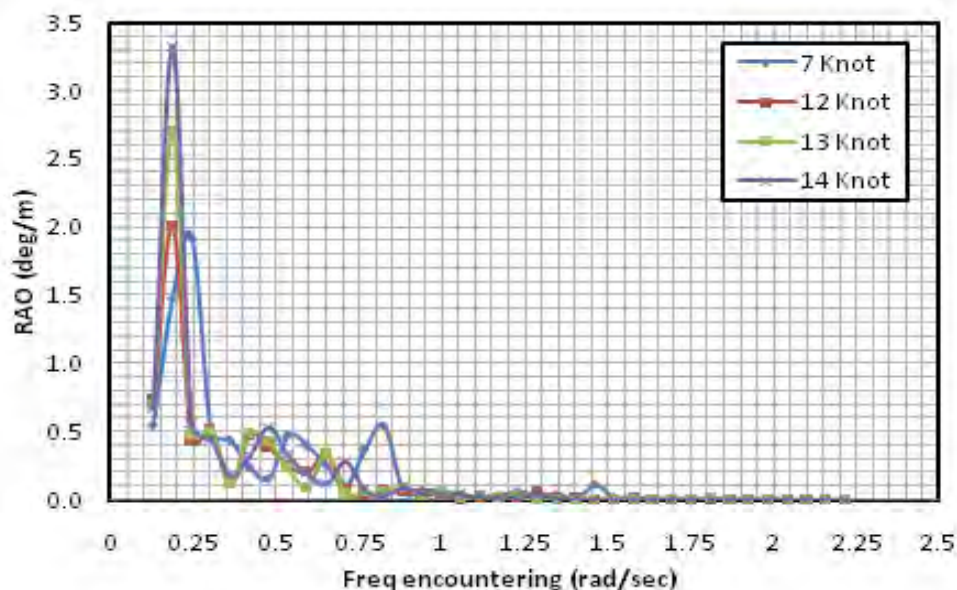
#### 4.2. Analisis Perilaku Gerak *Drillship* Kondisi *Transit*

Pada sub bab ini membahas tentang perilaku gerak *drillship* saat kondisi *transit*. Analisis ini difokuskan terhadap arah datang gelombang *headseas* sebagaimana penelitian terdahulu bahwasanya perilaku gerak maksimal struktur kapal pada umumnya terjadi pada arah datang gelombang *headseas*. Untuk memenuhi kebutuhan analisis *slamming*, maka mode gerak yang ditinjau hanya gerakan *heave* dan *pitch*. Perlu diketahui bahwa untuk kepentingan analisa *slamming*, maka analisa RAO ditinjau bukan dari CG struktur, melainkan ditinjau dengan menggunakan CG haluan. Dimana CG haluan adalah 82.76 m dari CG struktur. Sehingga RAO yang dihasilkan adalah RAO berdasarkan CG haluan.



**Gambar 4.8.** RAO *heave drillship* dengan variasi kecepatan

Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa respons amplitudo operator maksimal untuk mode gerakan *heave* terjadi pada frekuensi 0.187 rad/s untuk setiap variasi kecepatan 7, 12, 13 dan 14 knot yakni mempunyai nilai maksimal masing-masing 1.345 m/m, 1.514 m/m, 2.121 m/m dan 2.702 m/m. Berdasarkan gambar diatas pula, dapat diketahui bahwasanya pola dari kurva RAO gerakan *heave* tersebut mengalami perbedaan harga untuk setiap variasi kecepatan yang diberikan, dimana semakin besar kecepatan yang diberikan maka RAO *drillship* juga akan semakin besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwasanya semakin besar kecepatan yang diberikan pada *drillship* maka akan semakin besar pula harga RAO yang dimiliki. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan *heave* tersebut menjelaskan suatu sistem dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang harmonik. Pada frekuensi rendah RAO *heave* mempunyai harga mendekati 1.00 m/m, sesuai dengan kondisi platforming, dan secara bertahap naik sampai pada puncaknya yakni pada frekuensi 0.187 kemudian menurun drastis pada frekuensi tinggi. Sedangkan untuk mode gerakan *pitch* disajikan dalam Gambar 4.9.



**Gambar 4.9.** RAO *pitch drillship* dengan variasi kecepatan



Berdasarkan hasil analisis sebagaimana Gambar 4.9 diatas yakni RAO gerakan *pitch* untuk arah *headseas* dengan variasi kecepatan tersebut dapat diketahui bahwa RAO maksimal terjadi pada frekuensi rendah untuk setiap kecepatan. Pola kurva RAO untuk setiap variasi kecepatan sama, yakni dari frekuensi rendah 0.129 rad/s naik sampai ke frekuensi 0.187 rad/s kemudian turun seiring bertambahnya frekuensi. RAO gerakan *pitch* maksimal terjadi pada frekuensi 0.187 rad/s untuk setiap arah kecepatan 12, 13 dan 14 knot yakni sebesar 1.925 deg/m, 2.009 deg/m dan 2.707 deg/m . Sedangkan pada kecepatan 7 knot harga RAO maksimal mengalami pergeseran frekuensi yakni terjadi pada frekuensi 0.245 rad/s dengan harga RAO 1.925 deg/m. Seiring bertambahnya frekuensi untuk setiap variasi kecepatan harga RAO bertambah seiring bertambahnya kecepatan. Sehingga perilaku gerak *drillship* secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan yang diberikan pada *drillship* maka akan semakin besar pula RAO yang terjadi pada drillhsip tersebut. Berikut disajikan rangkuman RAO maksimal untuk setiap variasi kecepatan, baik itu untuk gerakan translasi *heave* maupun untuk gerakan rotasi *pitch* dalam Tabel 4.4.

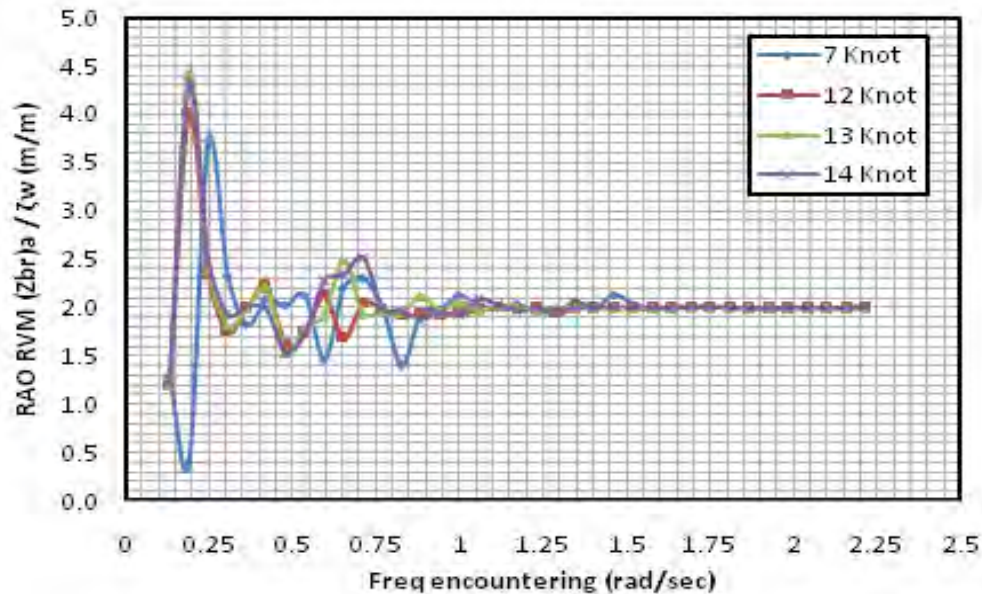
**Tabel 4.4.** RAO maksimal *drillship* arah *headseas*

Kecepatan (Knot)	Mode Gerak dan Freq.			
	<i>Heave</i> (m/m)	<i>Freq.</i> (rad/s)	<i>Pitch</i> (deg/m)	<i>Freq.</i> (rad/s)
7	1.345	0.187	1.925	0.245
12	1.514	0.187	2.009	0.187
13	2.121	0.187	2.707	0.187
14	2.702	0.187	3.330	0.187

#### 4.3. Analisis Perilaku Gerak Vertikal Haluan *Drillship*

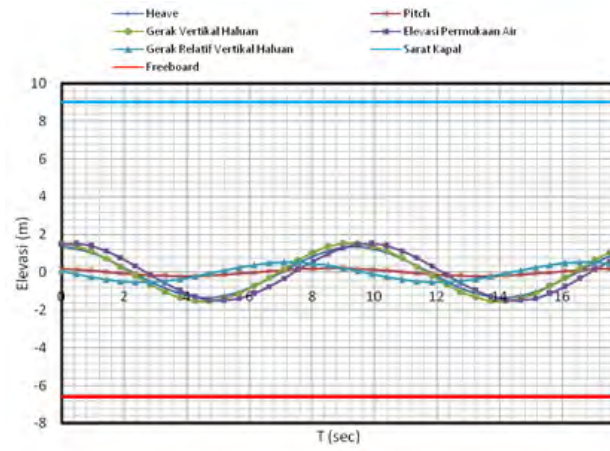
Pada sub bab ini menjelaskan tentang perilaku gerak relatif vertikal pada *drillship* dimana perilaku gerak relatif vertikal ini didapat dengan melakukan analisis perpaduan perilaku gerak antara mode gerak *heave* dan *pitch* sehingga menghasilkan grafik RAO relatif vertikal di haluan. Pada dasarnya grafik RAO gerakan relatif

vertikal haluan ini berlawanan dengan mode grafik gerakan *heave* struktur. Pada frekuensi rendah  $RAO_{Zbr}$  cenderung kecil dan naik bersamaan dengan kenaikan frekuensi. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat grafik kurva hasil analisis berikut:

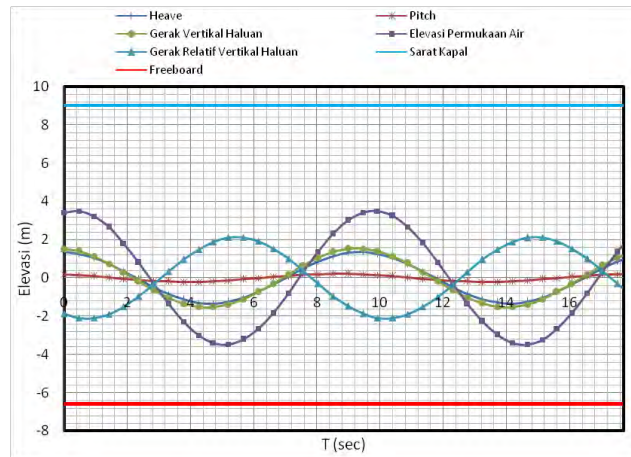


**Gambar 4.10.** RAO gerak relatif vertikal haluan

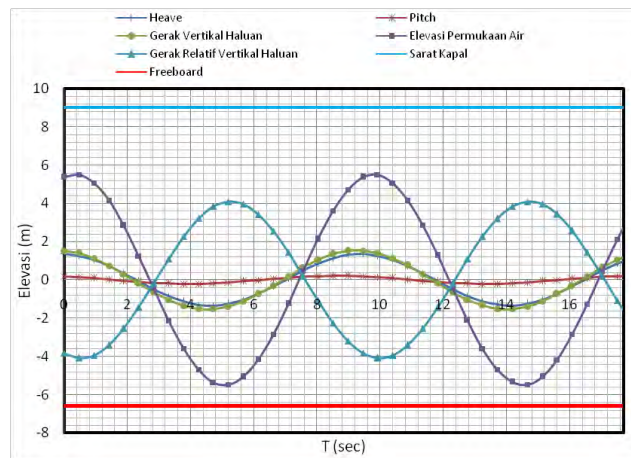
Berdasarkan grafik kurva hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa  $RAO_{Zbr}$  pada frekuensi rendah cenderung kecil dan mengalami kenaikan bersamaan dengan kenaikan frekuensi tertent. *Drillship* mengalami resonansi yang mengakibatkan *mode*  $RAO_{Zbr}$  kapal mengalami penurunan dan kemudian naik lagi hingga puncaknya yakni terjadi pada frekuensi alami gerakan vertikal tersebut yang kemudian secara *gradual* menurun pada frekuensi tertentu (tinggi). Gambar 4.10 menunjukkan bahwa RAO gerak relatif vertikal haluan maksimal terjadi di frekuensi alami struktur yakni sebesar 4.4 m/m yang terjadi saat kapal melaju dengan kecepatan 14 knot. Bisa diketahui pula bahwasanya untuk kecepatan rendah, puncak RAO terjadi pada frekuensi lebih rendah. Sebaliknya semakin bertambah kecepatan *drillship* maka puncak RAO pun bergeser pada frekuensi yang lebih tinggi lagi. Setelah dilakukan analisis RAO maksimal yang terjadi pada struktur, baik itu *mode* gerak *heave* maupun mode gerak *pitch*, maka bisa didapatkan analisis elevasi permukaan terhadap sarat kapal.



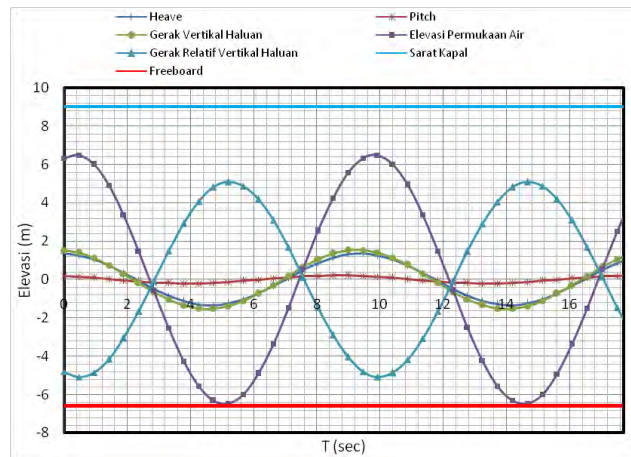
**Gambar 4.11.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V=7$  knot,  $H_s=3$  m



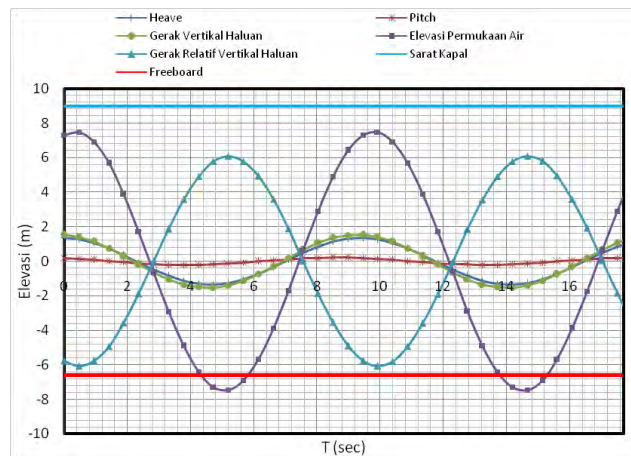
**Gambar 4.12.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V=7$  knot,  $H_s=7$  m



**Gambar 4.13.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V=7$  knot,  $H_s=11$  m



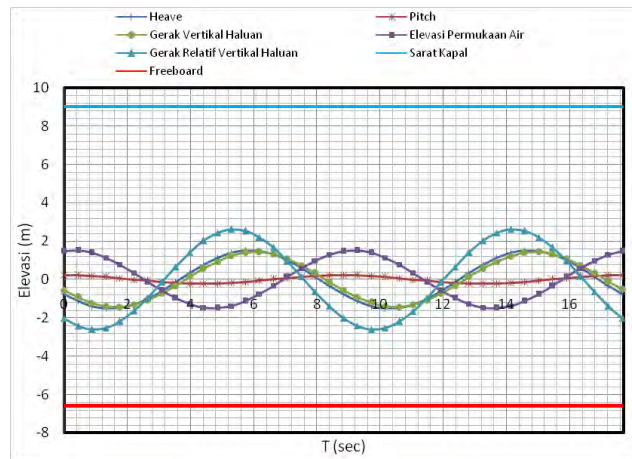
**Gambar 4.14.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V=7$  knot,  $H_s = 13$  m



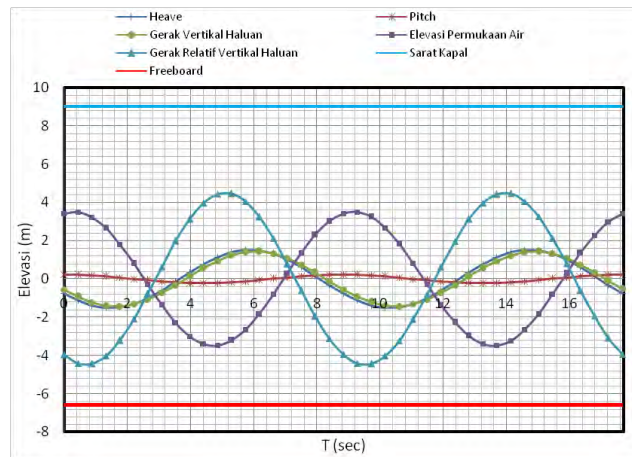
**Gambar 4.15.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V=7$  knot,  $H_s = 15$  m

Berdasarkan hasil perhitungan tentang analisa elevasi permukaan air terhadap tinggi sarat kapal sebagaimana disajikan dalam bentuk kurva dalam gambar 4.11 sampai gambar 4.15 untuk kecepatan 7 knot dapat dilihat bahwa perubahan elevasi permukaan air bergantung pada tinggi gelombang signifikan yang terjadi pada sistem tersebut. Semakin tinggi gelombang signifikan maka semakin tinggi pula elevasi permukaan air yang terjadi dan akan semakin tinggi pula gerak vertikal haluan yang terjadi.

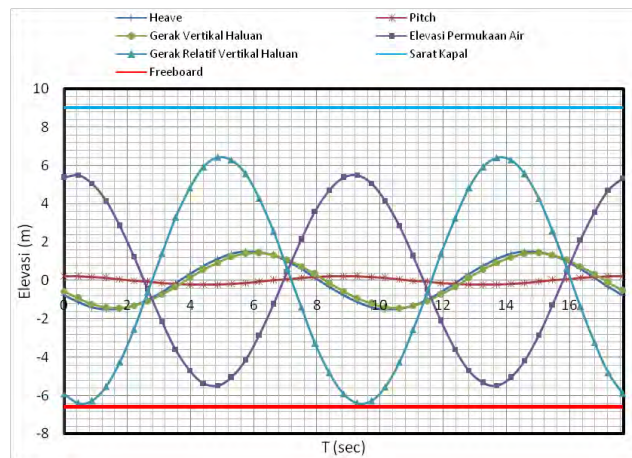




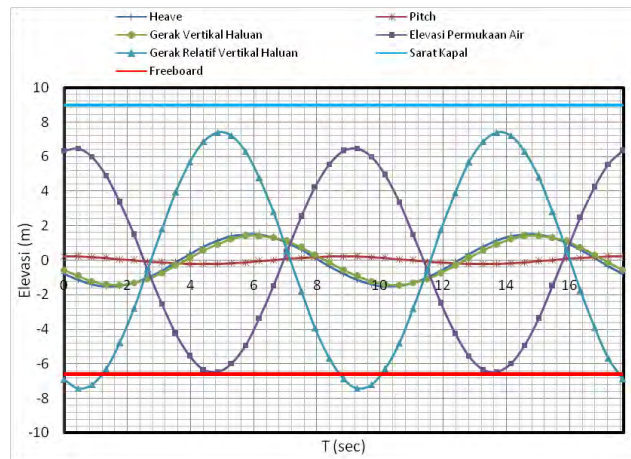
**Gambar 4.16.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 12$  knot,  $H_s = 3$  m



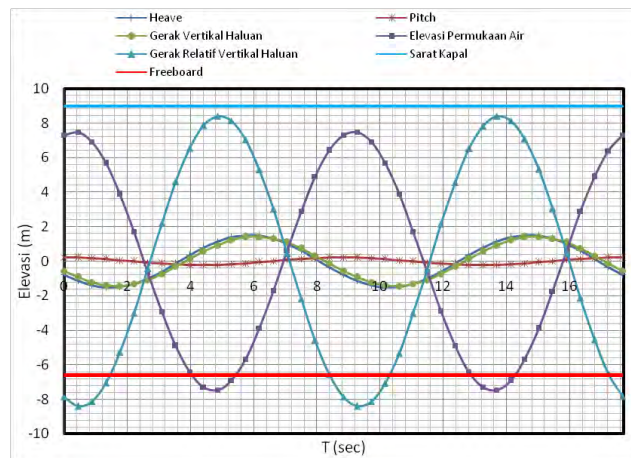
**Gambar 4.17.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 12$  knot,  $H_s = 7$  m



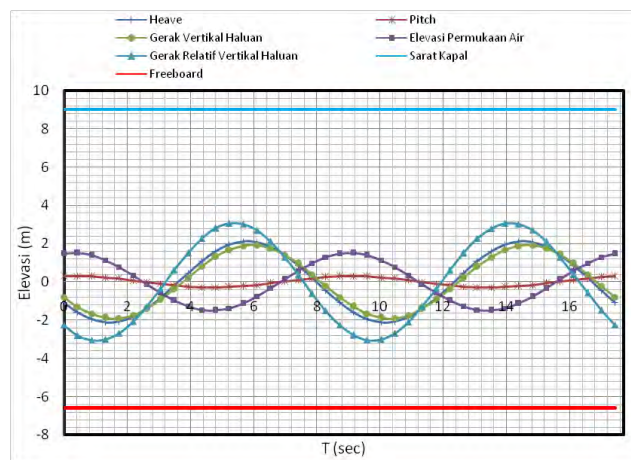
**Gambar 4.18.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 12$  knot,  $H_s = 11$  m



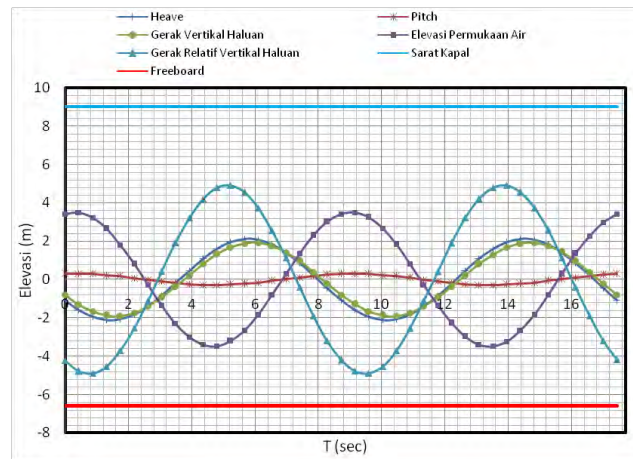
**Gambar 4.19.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 12$  knot,  $H_s = 13$  m



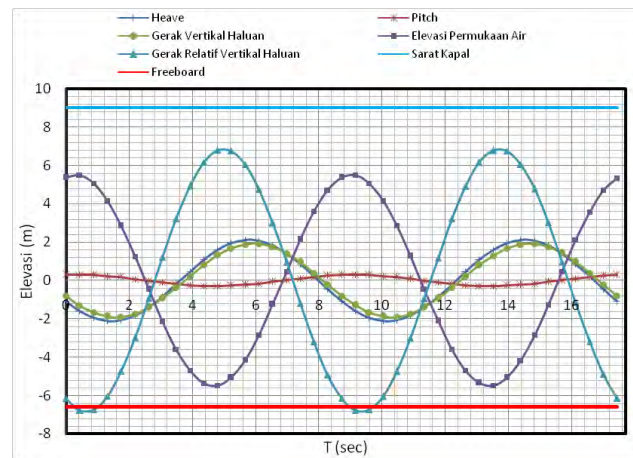
**Gambar 4.20.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 12$  knot,  $H_s = 15$  m



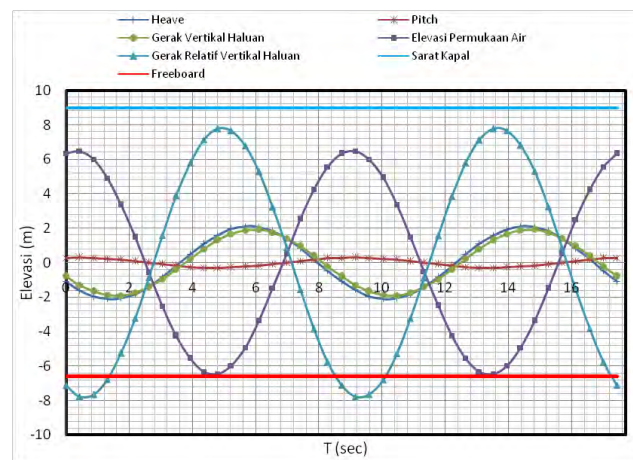
**Gambar 4.21.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 13$  knot,  $H_s = 3$  m



**Gambar 4.22.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 13$  knot,  $H_s = 7$  m

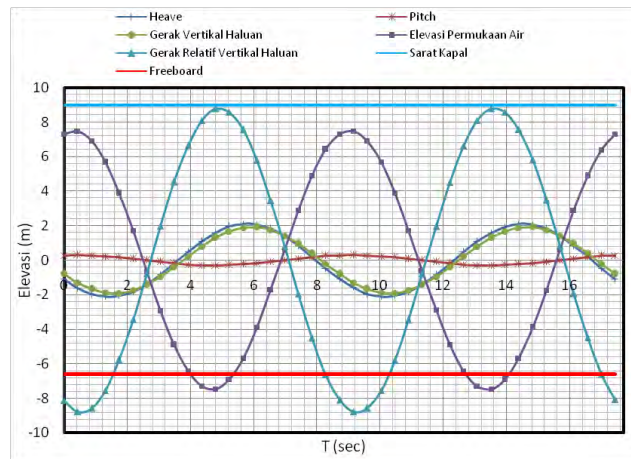


**Gambar 4.23.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 13$  knot,  $H_s = 11$  m

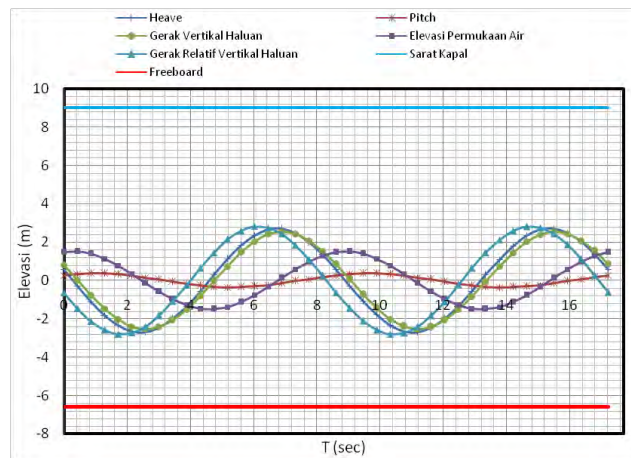


**Gambar 4.24.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 13$  knot,  $H_s = 13$  m

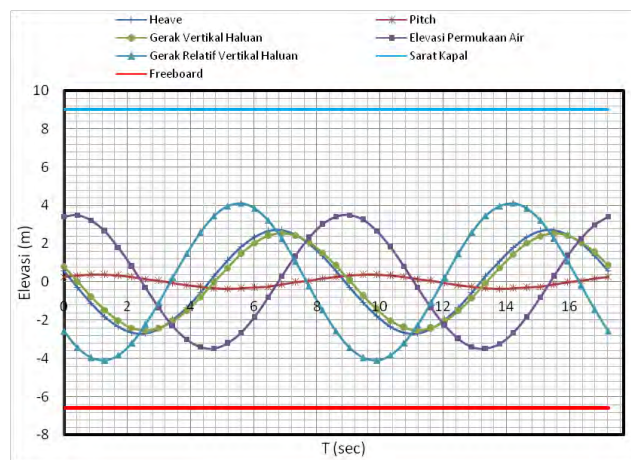




**Gambar 4.25.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 13$  knot,  $H_s = 15$  m

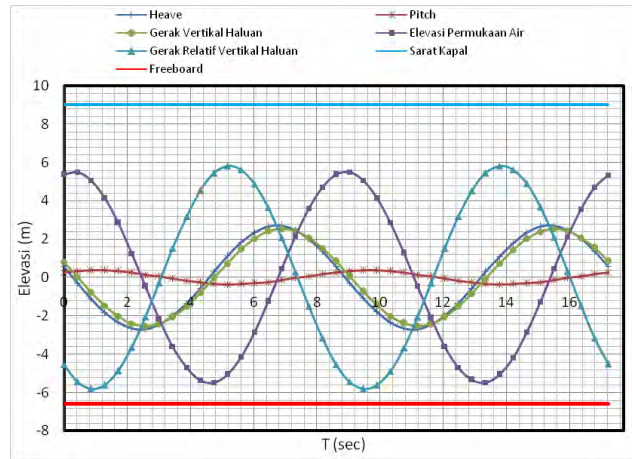


**Gambar 4.26.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 14$  knot,  $H_s = 3$  m

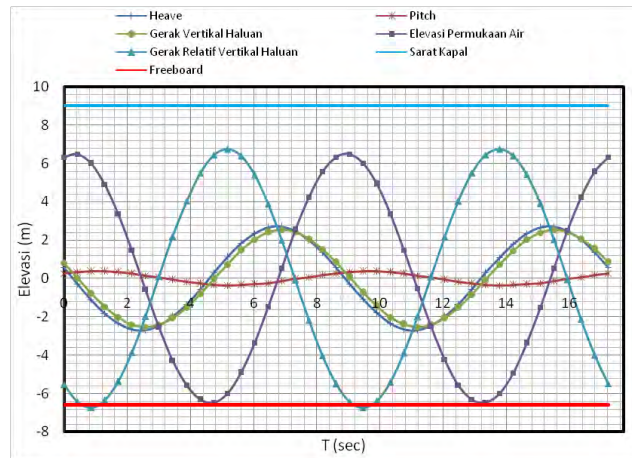


**Gambar 4.27.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 14$  knot,  $H_s = 7$  m

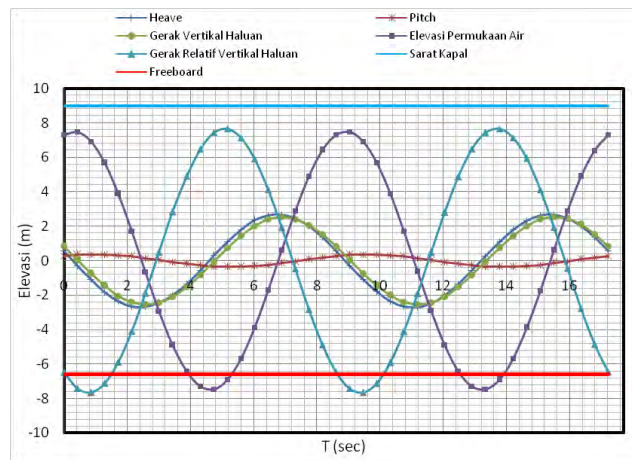




**Gambar 4.28.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 14$  knot,  $H_s = 11$  m



**Gambar 4.29.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 14$  knot,  $H_s = 13$  m

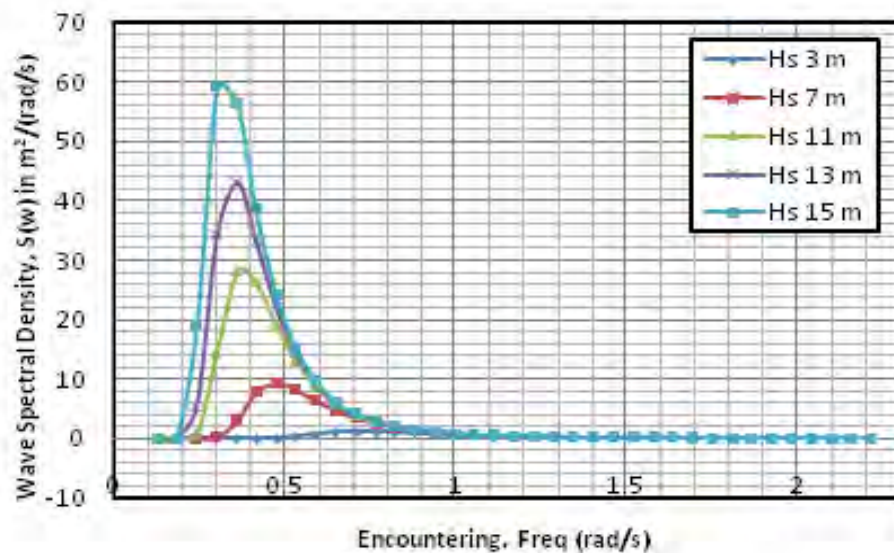


**Gambar 4.30.** Grafik elevasi relatif vertikal haluan  $V = 14$  knot,  $H_s = 15$  m

Perubahan elevasi permukaan air untuk setiap kecepatan sebagaimana Gambar 4.16 sampai Gambar 4.30 grafik elevasi relatif vertikal haluan, secara signifikan bergantung pada tinggi gelombang. Semakin tinggi gelombang yang terjadi maka semakin tinggi pula relatif vertikal pada haluan yang terjadi. Sementara perubahan kecepatan dari kecepatan 7 knot hingga kecepatan 14 knot, perubahan gerak relatif haluan pun sangat signifikan. Bahwa semakin tinggi kecepatan yang diberikan pada kapal, maka semakin tinggi juga gerak relatif vertikal yang terjadi pada haluan *drillship* tersebut.

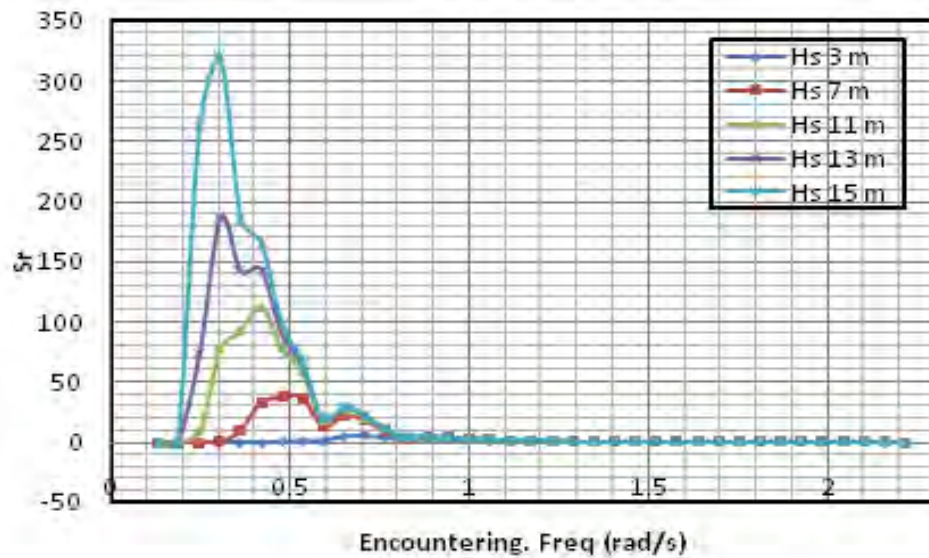
Gambar 4.30 menggambarkan grafik elevasi relatif vertikal haluan dengan kecepatan 14 knot dan  $H_s$  15 m, menunjukkan bahwa gerak relatif vertikal haluan melampaui *freeboard* 6.6 m, sedangkan gerak relatif vertikal haluannya mencapai 7.65695 m. Elevasi permukaan air mencapai 7.47323 m yang melampaui *freeboard* dari *drillship*.

Setelah diperoleh gerak vertikal haluan dari *drillship* untuk kemudian dicari gerak relatif vertikal pada gelombang reguler yang akan dikombinasikan dengan spektra gelombang. Spektra gelombang ISSC/ITTC 1975 yang diperoleh untuk setiap variasi kecepatan *drillship* arah datang *headseas* dapat dilihat pada Gambar 4.31.

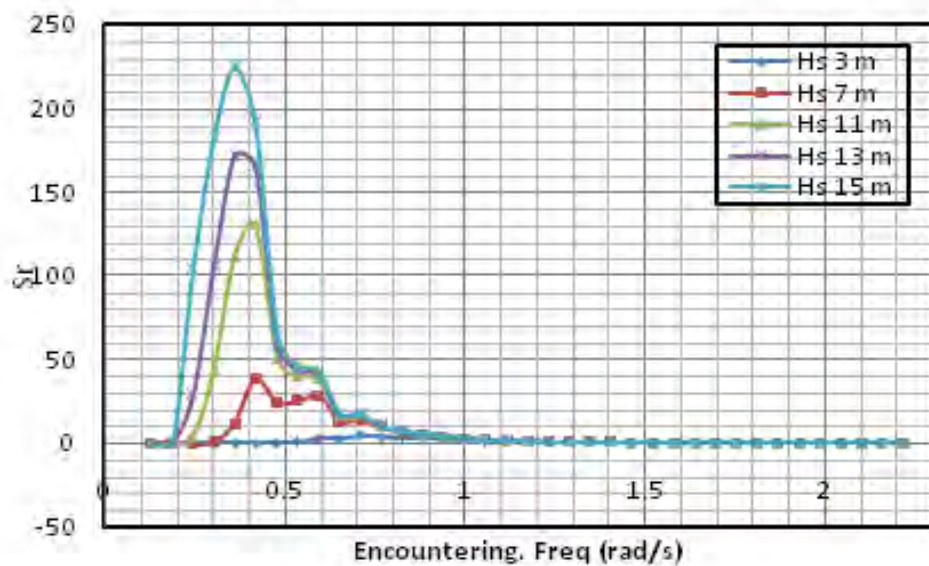


**Gambar 4.31.** Spectra Gelombang ISSC/ITTC 1975

Respon Spektra diperoleh dari hasil perkalian kuadrat RAO gerak relatif vertikal haluan dengan spektra gelombang ISSC, sehingga diperoleh hasil spektrum respon berupa varian spektra respon gerak relatif vertikal haluan, varian spektra respon kecepatan relatif vertikal haluan. Hasil tersebut digunakan dalam perhitungan *slamming*.

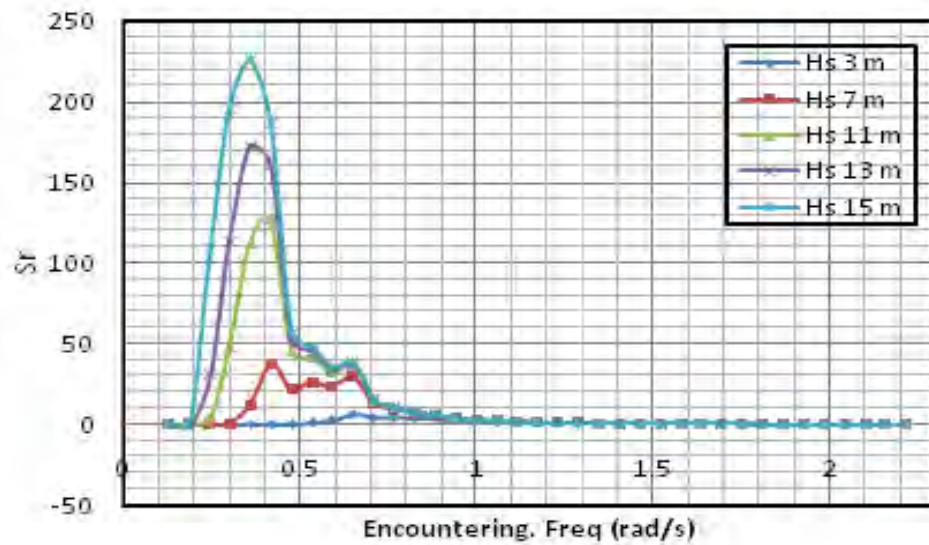


**Gambar 4.32.** Grafik spektra respons, 7 knot

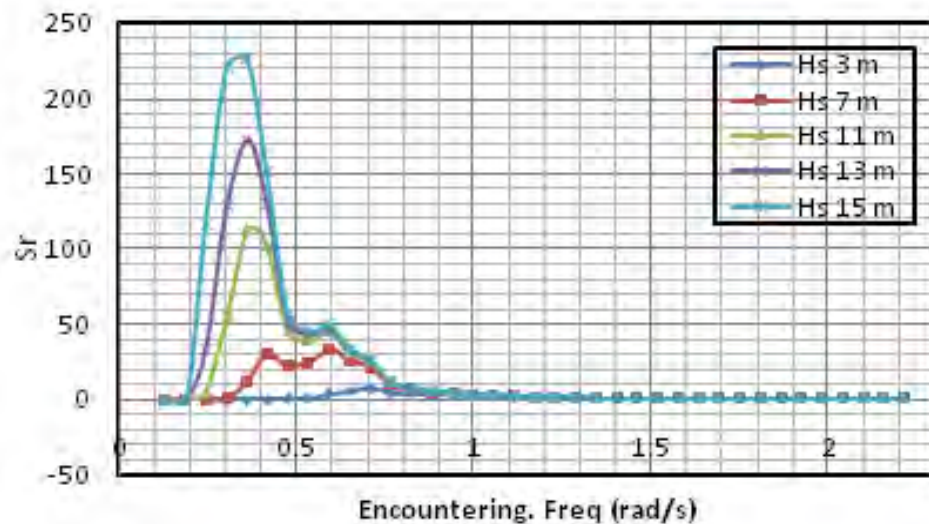


**Gambar 4.33.** Grafik spektra respons, 12 knot





**Gambar 4.34.** Grafik spektra respons, 13 knot



**Gambar 4.35.** Grafik spektra respons, 14 knot

Hasil analisis spectra respons untuk setiap varian kecepatan sebagaimana disajikan dalam Gambar 4.32 sampai Gambar 4.35 dapat diketahui bahwa spektra respons ISSC struktur *drillship* berpengaruh secara signifikan terhadap tinggi

gelombang signifikan yang digunakan, semakin besar tinggi gelombang maka semakin besar juga respons spektra yang terjadi. Sebagaimana formula yang digunakan untuk mendapatkan harga respons spektra yakni dengan mengalikan RAO kuadrat relatif vertikal haluan struktur dengan spektra gelombang ISSC, bahwasanya kenaikan besar respons gelombang bergantung pada kenaikan tinggi gelombang. Dalam analisa ini dapat diketahui bahwa respons spektra maksimal terjadi pada tinggi gelombang signifikan 15 meter untuk setiap varian kecepatan *drillship* baik itu untuk kecepatan 7 knot hingga kecepatan 14 knot.

#### **4.4. Perhitungan Peluang, Intensitas dan Tekanan *Slamming***

Dalam hal bangunan laut yang di operasikan acak, *slamming* akan terjadi bilamana dasar haluan naik melewati (*emerge*) gelombang, atau dengan kata lain gerakan relatif vertikal haluan melampaui sarat air bagian haluan, dan kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati harga kecepatan ambang batas *slamming* atau *threshold velocity*. Perlu dicatat disini, efek *slamming* yang sebenarnya hanya terjadi apabila pada saat dasar haluan masuk kembali ke dalam air atau gelombang mempunyai kecepatan tertentu. Bilamana kecepatan terlalu rendah maka haluan dapat dikatakan hanya mencelup kembali ke dalam air, sehingga efek *slamming* atau hempasan tidak akan terasa. Dengan demikian peluang terjadinya *slamming* harus juga memenuhi dua syarat tersebut, pertama harus memperhitungkan peluang gerakan vertikal haluan relatife lebih besar dari sarat air bagian haluan. Kedua, peluang kecepatan relatif vertikal haluan lebih besar dari kecepatan ambang batas *slamming*. Berdasarkan hasil analisa yang sudah dilakukan, maka didapatkan hasil perhitungan peluang terjadinya *slamming*, intensitas terjadinya *slamming* sampai tekanan *slamming* yang terjadi pada *drillship* dengan variasi masing-masing kecepatan dan juga terhadap tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ), disajikan dalam Tabel 4.5 sampai Tabel 4.7.

**Tabel 4.5.** Hasil perhitungan analisa *slamming*, 7 knot

Hs (m)	Pr slam (times)	N slam (slam/s)	N slam (slam/hour)	Ps (kPa)
3	0.000	0.000	0.001	134.994
7	0.010	0.001	6.799	254.754
11	0.186	0.023	60.148	338.706
13	0.283	0.032	87.112	383.047
15	0.361	0.038	105.990	425.797

**Tabel 4.6.** Hasil perhitungan analisa *slamming*, 12 knot

Hs (m)	Pr slam (times)	N slam (slam/s)	N slam (slam/hour)	Ps (kPa)
3	0.000	0.000	0.000	137.712
7	0.028	0.003	10.595	265.658
11	0.209	0.020	71.382	368.889
13	0.333	0.028	98.932	420.918
15	0.441	0.034	118.985	470.459

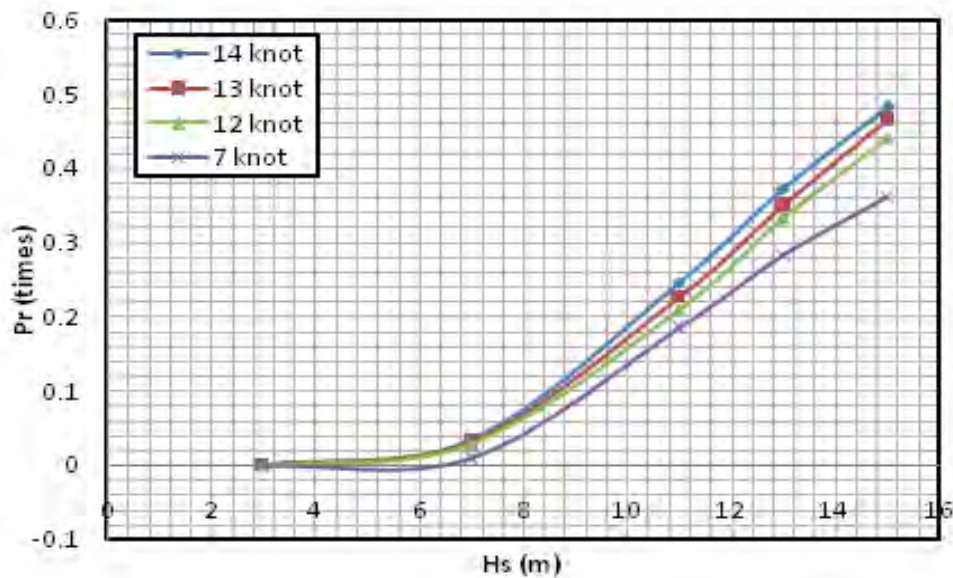
**Tabel 4.7.** Hasil perhitungan analisa *slamming*, 13 knot

Hs (m)	Pr slam (times)	N slam (times/s)	N slam (slam/hour)	Ps (kPa)
3	0.000	0.000	0.000	141.389
7	0.032	0.004	12.256	274.095
11	0.227	0.022	72.978	377.529
13	0.351	0.030	100.307	429.434
15	0.465	0.035	121.940	483.991

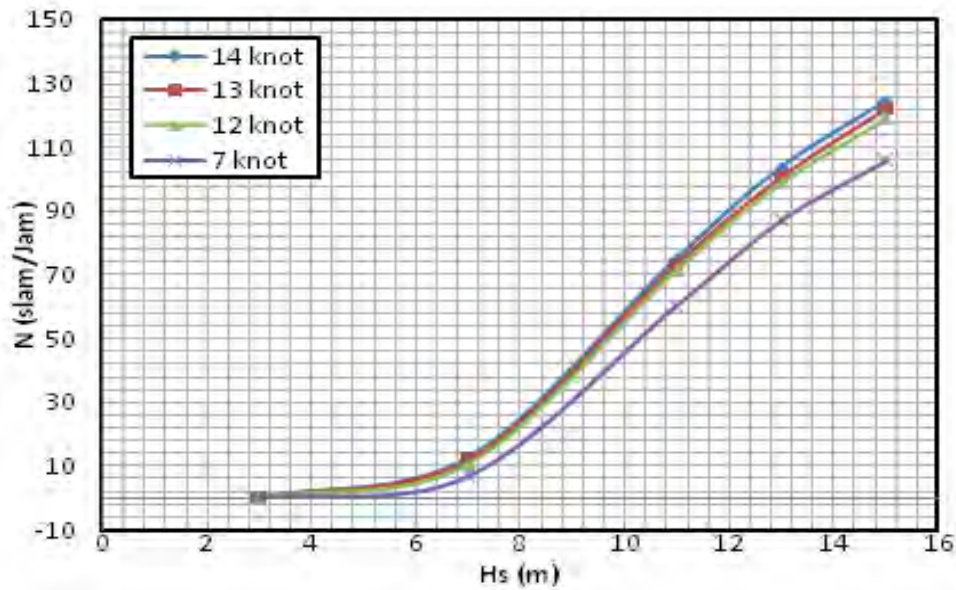
**Tabel 4.8.** Hasil perhitungan analisa *slamming*, 14 knot

Hs (m)	Pr slam (times)	N slam (slam/s)	N slam (slam/hour)	Ps (kPa)
3	0.000	0.000	0.000	143.714
7	0.034	0.005	12.959	278.324
11	0.247	0.021	75.132	386.674
13	0.372	0.029	103.734	439.990
15	0.483	0.035	124.451	492.232

Untuk lebih jelasnya perhitungan peluang, intensitas serta tekanan *slamming* yang terjadi pada *drillship*, Gambar 4.36 sampai Gambar 4.38 menyajikan hasil perbandingan peluang terjadinya *slamming* untuk setiap kecepatan, intensitas terjadinya *slamming* dan juga tekanan *slamming* terhadap dasar haluan *drillship*.



**Gambar 4.36.** Peluang terjadinya *slamming* untuk setiap variasi kecepatan

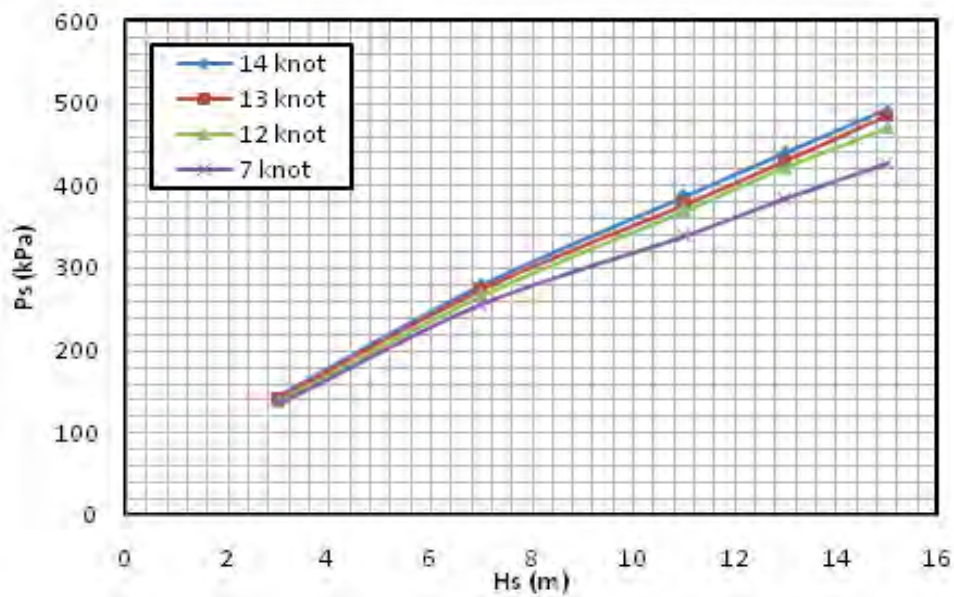


**Gambar 4.37.** Intensitas terjadinya *slamming* untuk setiap variasi kecepatan

Gambar 4.36 menggambarkan peluang terjadinya *slamming* pada *drillship* untuk variasi kecepatan *drillship*, bahwasanya semakin besar kecepatan yang diberikan maka peluang terjadinya *slamming* akan semakin besar. Begitupula dilihat berdasarkan tinggi gelombang signifikan, semakin tinggi gelombang yang terjadi maka semakin besar pula peluang terjadinya *slamming* terhadap *drillship* tersebut. Itu dikarenakan sebuah kapal dengan kecepatan besar maka RAO yang terjadi juga semakin besar dibandingkan dengan RAO pada saat kecepatan kecil. Peluang terjadinya *slamming* maksimal terjadi pada saat *drillship transit* dengan kecepatan 14 knot dan  $H_s$  15 m, yakni 0.483 kali.

Intensitas terjadinya *slamming* sebagaimana dijelaskan dalam Gambar 4.37 dapat diketahui bahwa intensitas terjadinya *slamming* untuk *drillship* 35000 ton tinggi seiring kenaikan tinggi gelombang signifikan dan juga seiring kenaikan kecepatan *drillship*. Semakin besar tinggi gelombang maka intensitas terjadinya *slamming* akan semakin sering. Dalam analisis ini, intensitas *slamming* maksimal terjadi pada saat *drillship transit* dengan kecepatan 14 knot dan  $H_s$  15 m, yakni 124.451 *slamming/jam*.





**Gambar 4.38.** Tekanan *slamming* untuk setiap variasi kecepatan

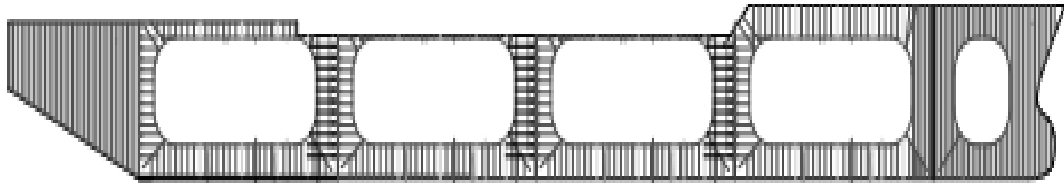
Sedangkan untuk analisa tekanan *slamming* sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.38 dapat diketahui bahwa *trend* kurva tekanan *slamming* naik seiring dengan naiknya  $H_s$  dan juga semakin besar kecepatan yang diberikan pada *drillship* maka semakin besar pula tekanan *slamming* yang terjadi pada haluan *drillship* tersebut. Dalam analisis ini dapat diketahui bahwa tekanan *slamming* maksimal terjadi pada tinggi gelombang signifikan 15 m dengan kecepatan 14 knot yakni sebesar 492.232 kPa.

Tekanan *slamming* yang didapat disini kemudian dikonversikan kedalam bentuk gaya untuk kepentingan analisa kekuatan struktur akibat tekanan *slamming* tersebut. Dalam hal ini untuk mengkonversikan tekanan *slamming* menjadi gaya dilakukan dengan mengalikan tekanan tersebut dengan luasan yang terdampak *slamming*. Sehingga gaya yang diperoleh tadi disubstitusikan kedalam *shear force* dan juga *bending momen* yang terjadi pada struktur.

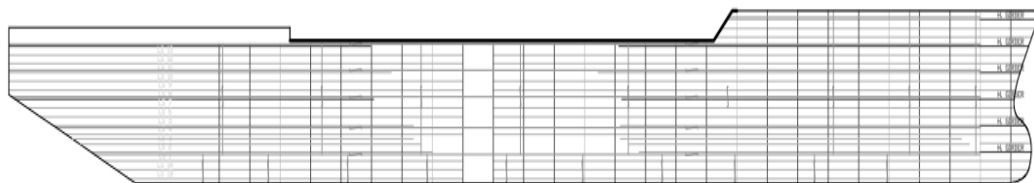
#### 4.5. Analisis Kekuatan Struktur *Drillship*

##### 4.5.1. Permodelan Desain Konstruksi *Drillship*

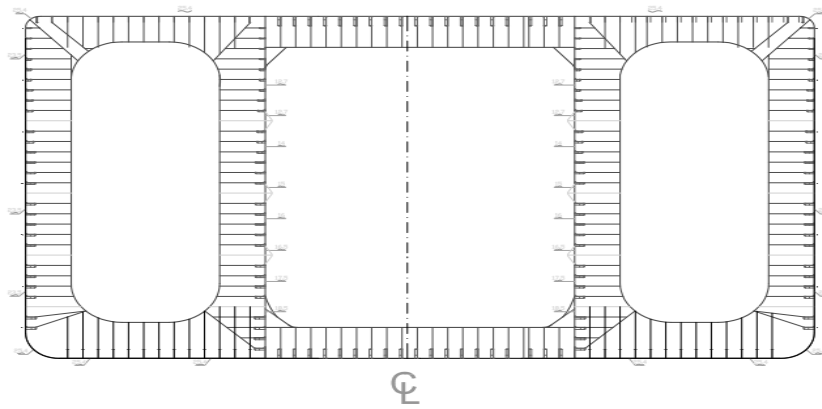
Untuk kepentingan analisa *Finite Element Methode* maka diperlukan model struktur kapal dengan mengacu pada referensi seperti *lines plan*, *general arrangement*, *code* dan kapal pembanding sehingga didapatkan desain struktur kapal. Pemodelan struktur ini terdiri dari *center frame*, *longitudinal stringer*. Kapal terbagi menjadi 40 *frame section* dengan panjang 156 m dengan jarak antar *frame* sepanjang kapal adalah 3.8 m serta tebal plat kapal berdasarkan perhitungan adalah 12.5 mm. Sedangkan *longitudinal stiffener* terdiri dari 30 dimana tebal *stiffener* 12.5 mm sesuai dengan tebal lambung kapal dengan jarak antar *stiffener* adalah 0.52 m. Gambar 4.39 adalah konstruksi pada *center frame* untuk *drillship* berdisplasemen 35000 ton. Gambar 4.40 merupakan desain permodelan konstruksi *stringer longitudinal drillship*. Gambar 4.41 adalah *frame* untuk semua tipikal *section* sepanjang kapal. Gambar 4.42 adalah *frame* untuk *bulkhead* pada *drillship*, sedangkan Gambar 4.43 merupakan konstruksi *frame* pada daerah *moonpool*.



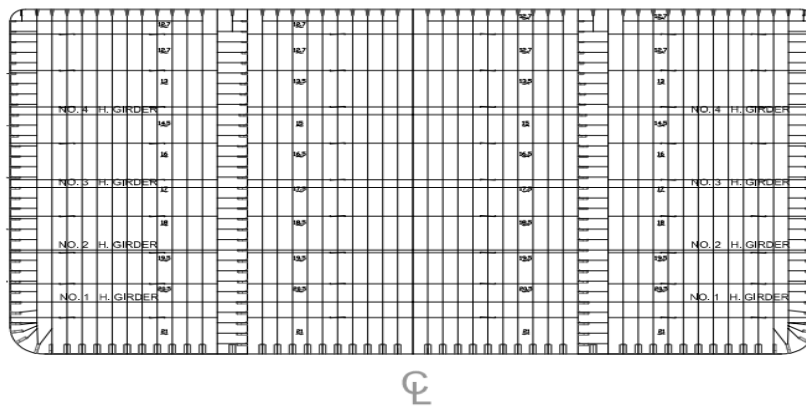
**Gambar 4.39.** Pemodelan konstruksi *drillship*, center frame.



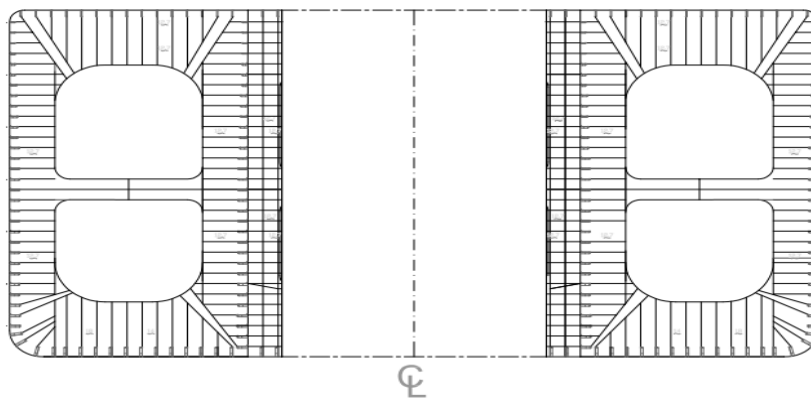
**Gambar 4.40.** Pemodelan konstruksi stringer *longitudinal drillship*



**Gambar 4.41.** Pemodelan *frame melintang*



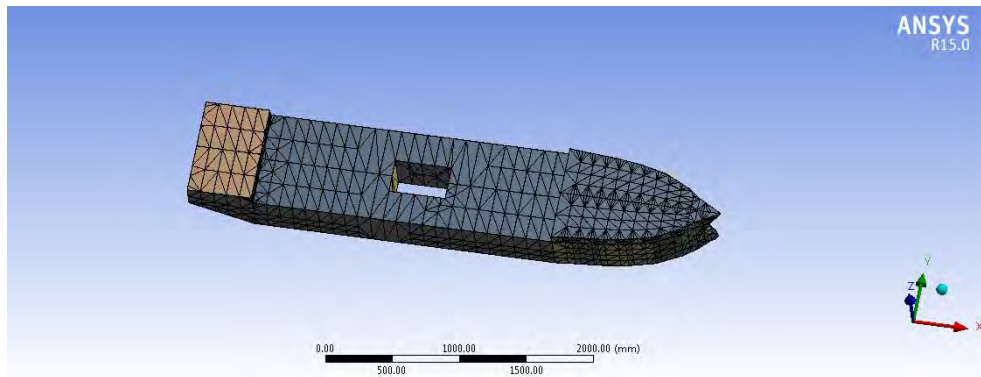
**Gambar 4.42.** *Frame bulkhead*



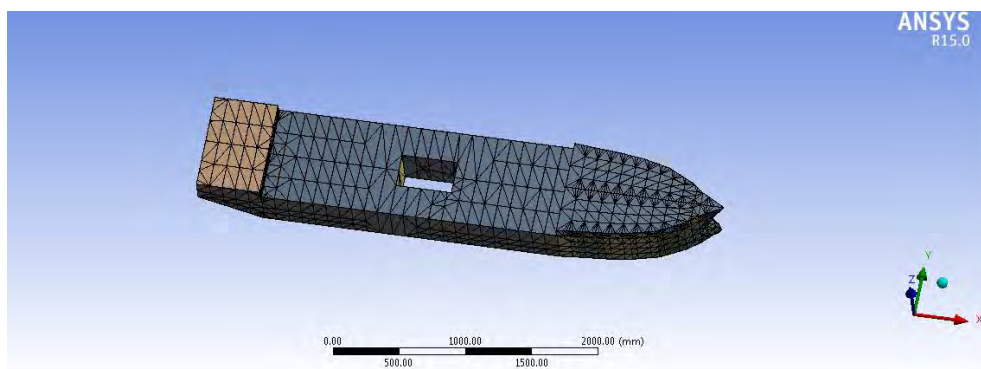
**Gambar 4.43.** *Frame daerah moonpool*

#### 4.5.2. Analisis Sensitivitas *Meshing* Struktur Global

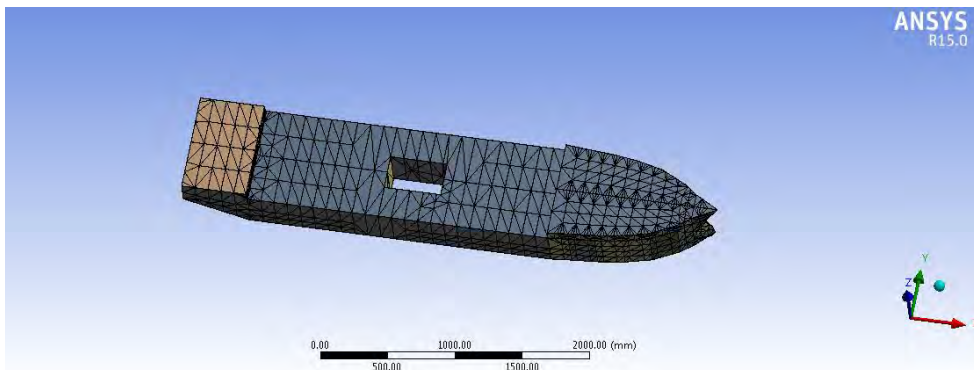
Pemodelan metode elemen hingga struktur global diperlukan dalam analisa *meshing* struktur. Dalam analisa *meshing* dibutuhkan *meshing* sedemikian hingga sehingga model bersifat valid atau stabil. Untuk mencapai sensitifitas *meshing* dilakukan dengan cara meningkatkan jumlah elemen atau dengan cara memperkecil ukuran *meshing* sampai *output* yang dihasilkan cenderung konstan. Dalam hal *meshing* sensitivitas ini *output* yang ditinjau adalah *vonmises stress*, ketika *output* yang dihasilkan sudah konstan maka proses sensitivitas sudah bisa diambil kesimpulan. Dalam analisa ini dimulai dari *meshing* ukuran 3900 mm, turun seperdua dari ukuran awal hingga didapatkan konvergen.



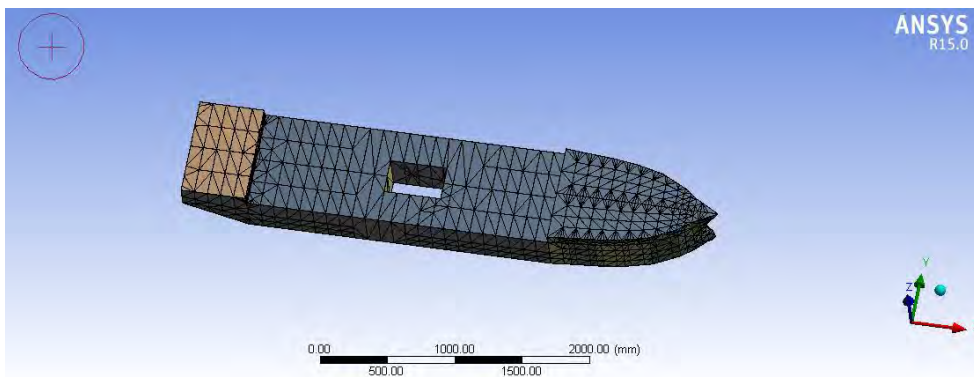
**Gambar 4.44.** *Meshing* ukuran 3900 mm (jumlah elemen 1615)



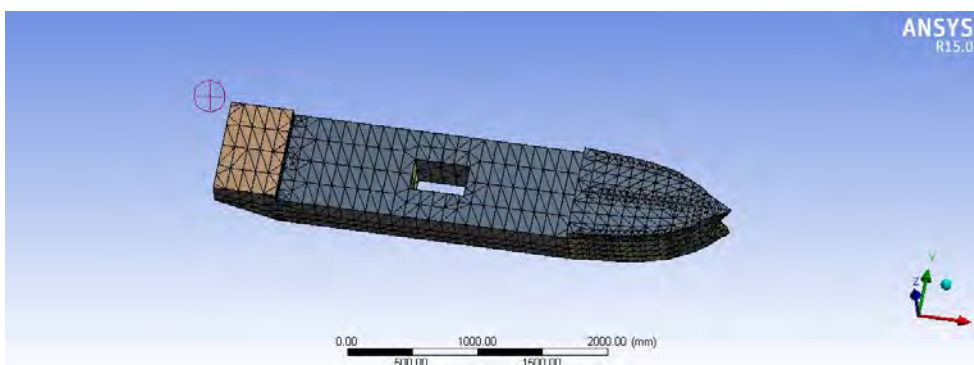
**Gambar 4.45.** *Meshing* ukuran 1950 mm (jumlah elemen 1663)



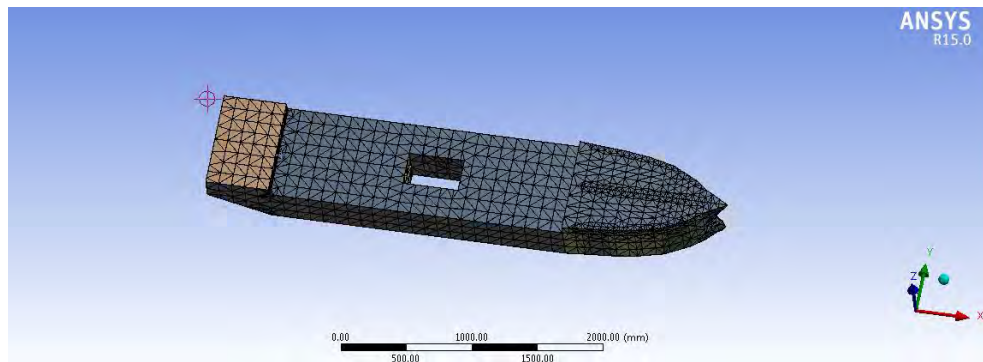
**Gambar 4.46.** *Meshing* ukuran 975 mm (jumlah elemen 1607)



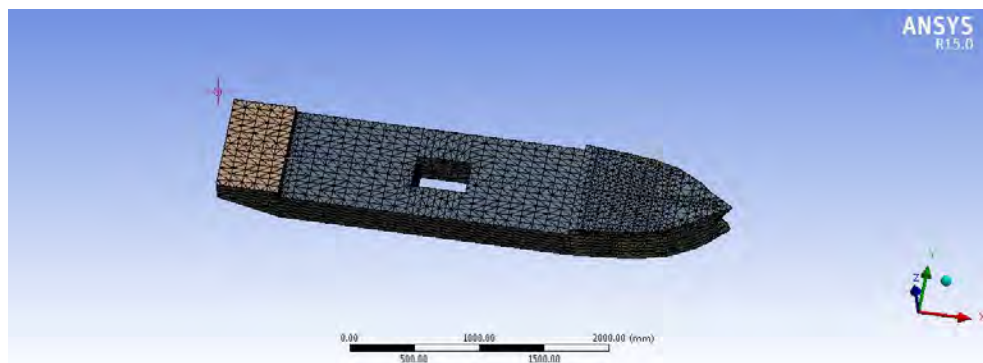
**Gambar 4.47.** *Meshing* ukuran 487.5 mm (jumlah elemen 1753)



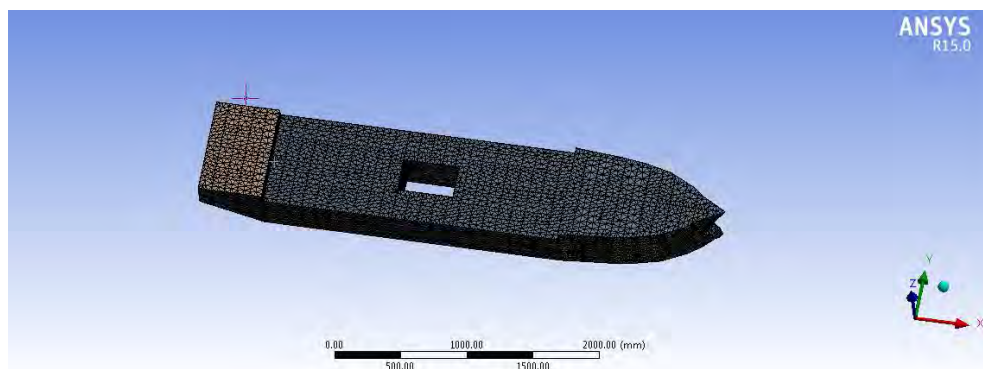
**Gambar 4.48.** *Meshing* ukuran 243.75 mm (jumlah elemen 2045)



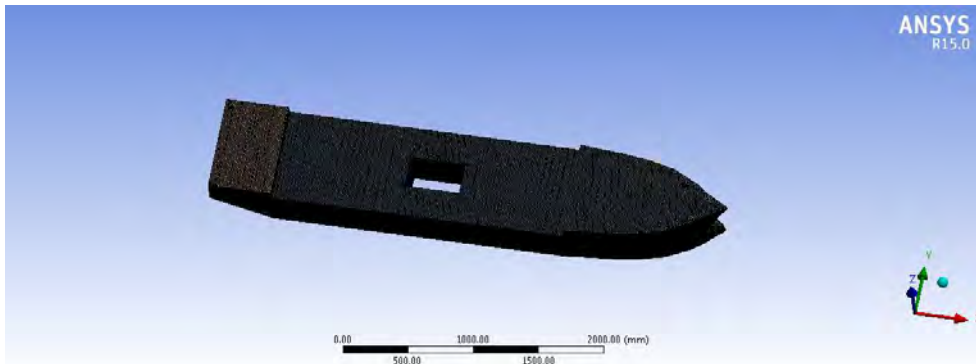
**Gambar 4.49.** *Meshing* ukuran 121.875 mm (jumlah elemen 3245)



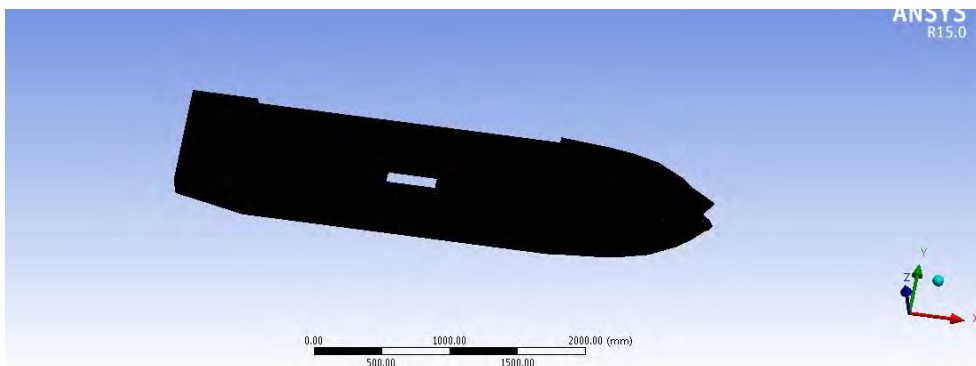
**Gambar 4.50.** *Meshing* ukuran 60.9375 mm (jumlah elemen 7654)



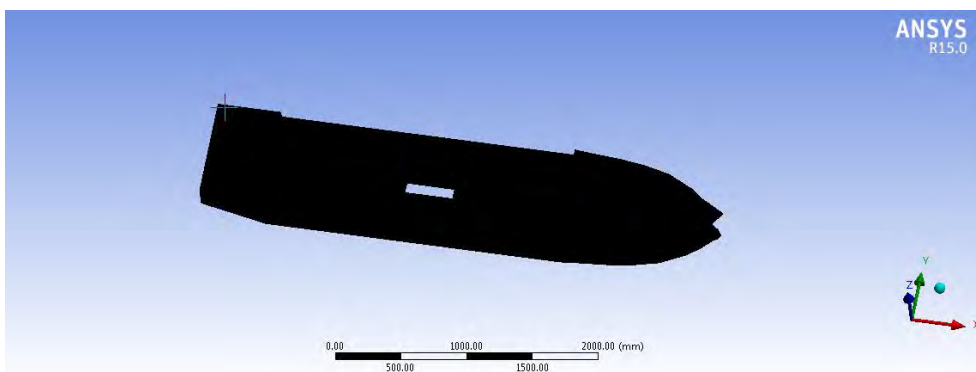
**Gambar 4.51.** *Meshing* ukuran 30.46875 mm (jumlah elemen 25043)



**Gambar 4.52.** *Meshing* ukuran 15.234375 mm (jumlah elemen 88302)

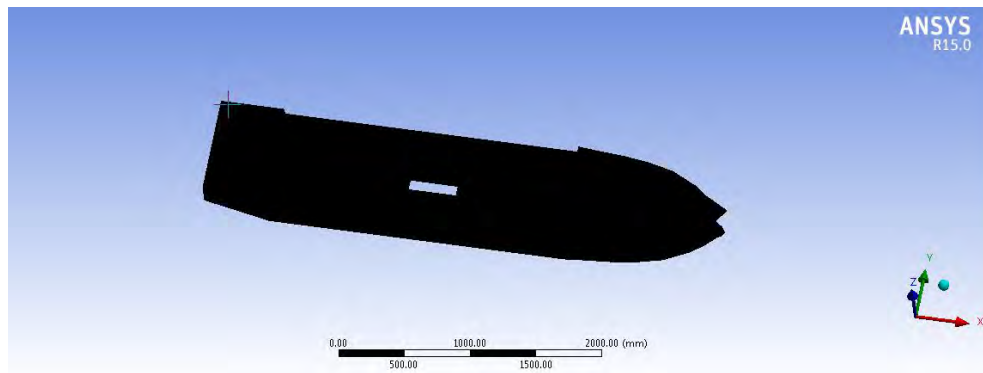


**Gambar 4.53.** *Meshing* ukuran 7.6171 mm (Jumlah elemen 346928)

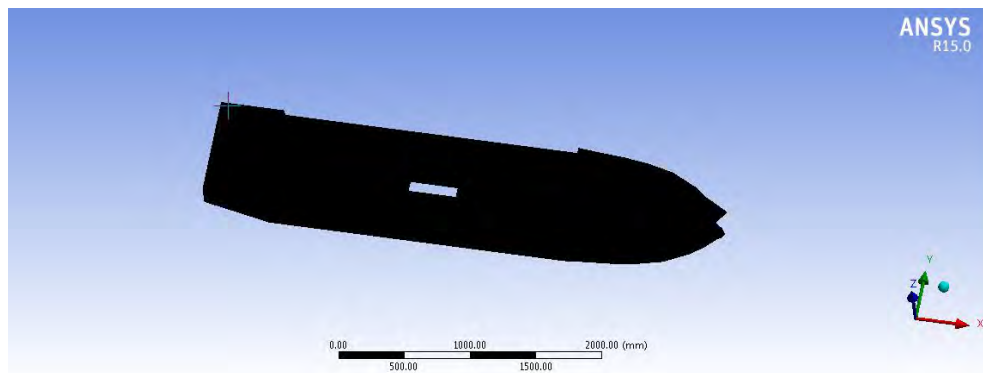


**Gambar 4.54.** *Meshing* ukuran 3 mm (jumlah elemen 2114808)

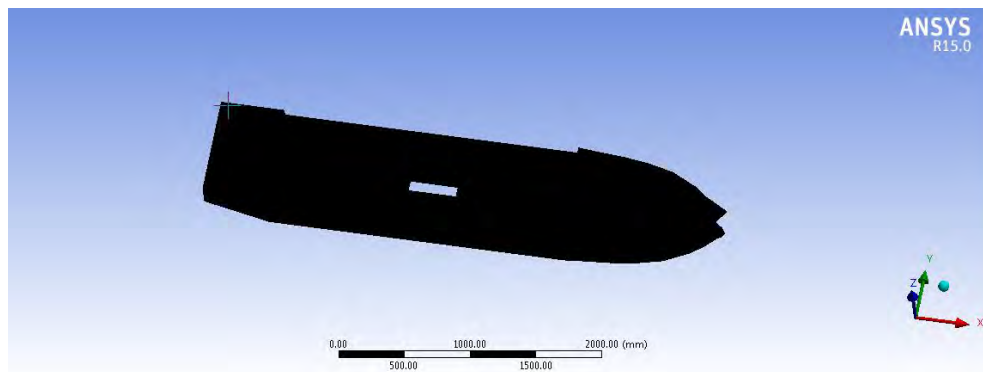




**Gambar 4.55.** *Meshing* ukuran 2.6 mm (jumlah elemen 2820212)



**Gambar 4.56.** *Meshing* ukuran 2.59 mm (jumlah elemen 2840185 )



**Gambar 4.57.** *Meshing* ukuran 2.58 mm (jumlah elemen 2864312)

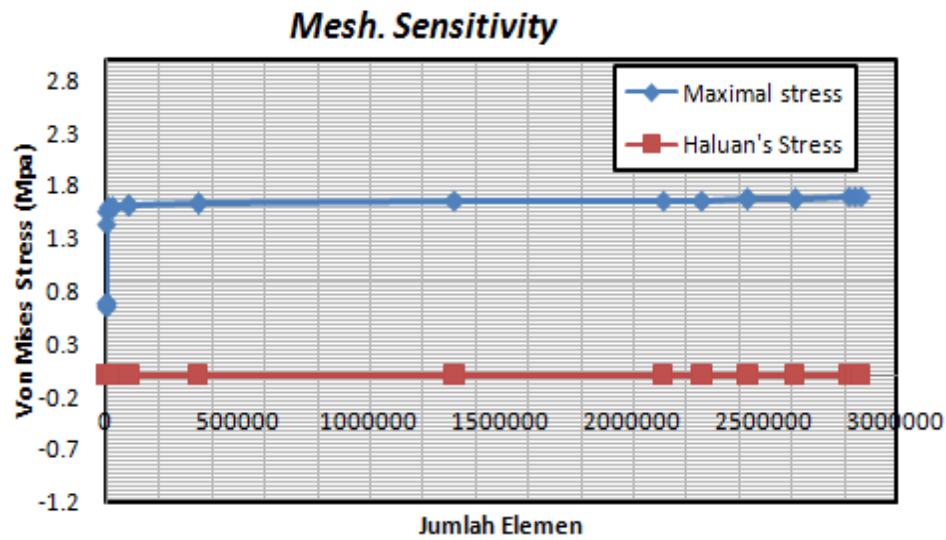
Hasil analisa *meshing* mencapai konvergensi pada ukuran 2.6 mm yakni dengan jumlah elemen 2820212 elemen dengan tipe *meshing triangle*. Dimana



dengan ukuran *meshing* tersebut mengalami *maximal vonmises stress* konstan yakni 1.6912 Mpa. *Meshing* terus dilakukan sampai pada ukuran 2.5 mm, proses *meshing* mengalami error dalam artian dengan ukuran *meshing* tersebut komputer yang digunakan penulis sudah mencapai batas maksimal kekuatan komputer dalam proses running desain..

**Tabel 4.9.** Karakteristik proses *meshing sensitivity* global analisis

Ukuran <i>Mesh</i> . (mm)	Jumlah elemen	<i>Stress</i> maks. (Mpa)	<i>Bow Stress</i> (Mpa)
3900	1615	0.6841	0.00183
1950	1663	0.649	0.0019869
975	1607	0.6759	0.003194
487.5	1753	0.6675	0.0035284
243.75	2045	1.4304	0.0025117
121.875	3245	1.5601	0.0021579
60.9375	7654	1.5836	0.0017936
30.46875	25043	1.5828	0.0024532
15.234375	88302	1.6068	0.0017007
7.6171875	346928	1.6231	0.0022656
3.80859375	1322951	1.6519	0.0017405
3	2114808	1.6568	0.0016468
2.9	2261545	1.6602	0.0015696
2.8	2434547	1.6689	0.0014799
2.7	2611828	1.6692	0.0014687
2.6	2820212	1.6912	0.0014467
2.59	2840185	1.6981	0.001426
2.58	2864312	1.6984	0.001415
2.5	Insufficient	Insufficient error	Insufficient error



**Gambar 4.58.** Meshing sensitivitas konvergen berdasarkan output (*Von mises stress*)

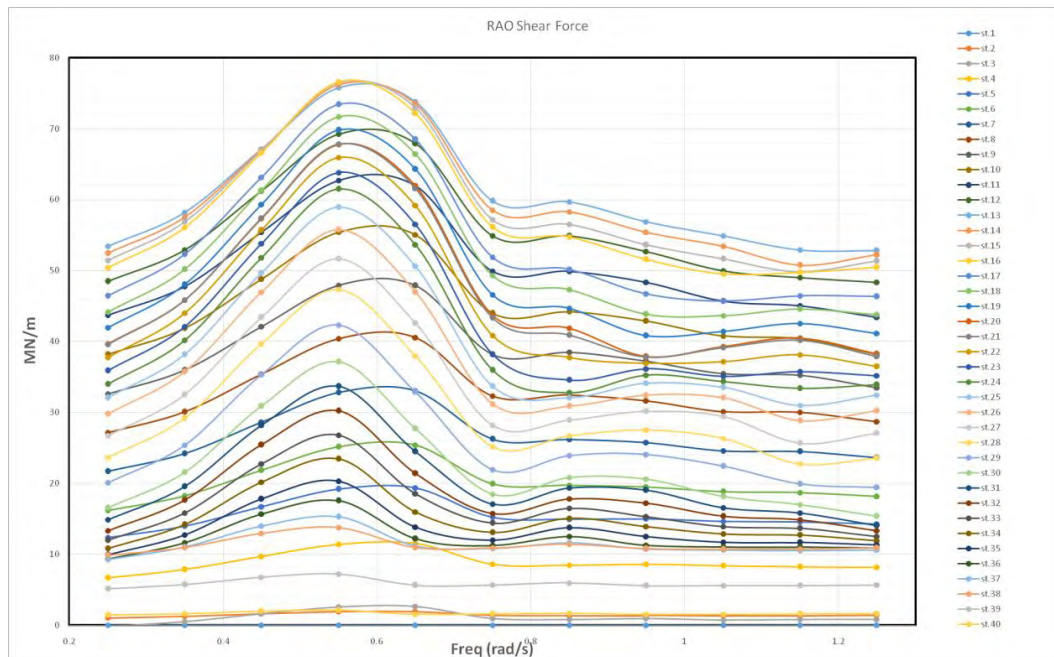
Berdasarkan hasil analisa *meshing* sensitivitas diatas, diperoleh ukuran meshing yang konvergen untuk analisa struktur. Pembebanan dilakukan dengan metode *quasi statis* dengan data material sesuai dengan data material pada ABS 2012 sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 4.10

**Tabel 4.10.** Data Material struktur

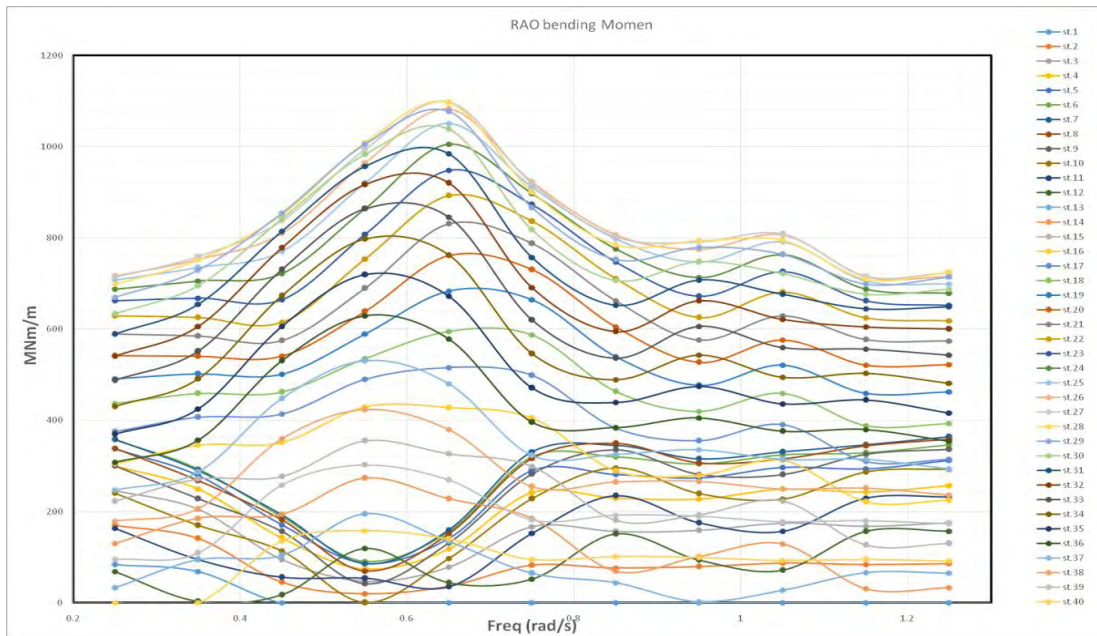
Primary Material (ASTM 897/A897M-06 GRADE 110-70-11)		
Density	0.0071	gr/mm3
Ultimate Strength	$7.584 \times 10^8$	Pa
Poisson Ratio	0.25	
Thermal Conductivity	22.3	W/M - K
Secondary Material (ASTM A852)		
Density	0.0078	gr/mm3
Ultimate Strength	$4.83 \times 10^8$	Pa
Poisson Ratio	0.25	
Thermal Conductivity	22.3	W/M - K

#### 4.5.3. Pembebanan *Quasi-Static*

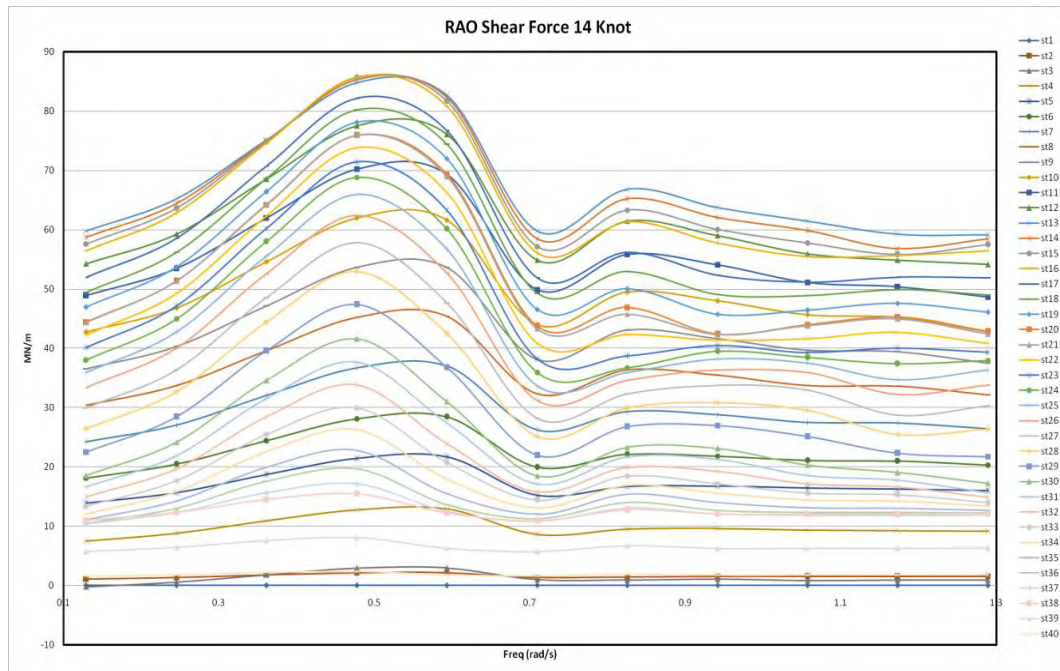
Pembebanan *quasi-static* dalam analisa ini diberikan terhadap masing-masing *station*, yakni dengan memberikan beban berdasarkan RAO *shear force* dan bending momen untuk setiap *station*. Dalam hal analisa struktur ini, beban *quasi-static* yang diberikan adalah beban maksimal yang diperoleh dari hasil analisis beban sebelumnya. Dimana hasil dari analisis tersebut menghasilkan RAO maksimal pada saat kecepatan 14 knot. Sehingga RAO *shear force* dan *bending moment* yang digunakan adalah RAO *shear force* dan *bending moment* pada kecepatan 14 knot. Dalam analisis ini juga, penulis membandingkan hasil RAO *shear force* dan *bending moment* pada saat kapal diam dan pada saat kapal bergerak dimana kapal mengalami fenomena *slamming*.



**Gambar 4.59.** RAO *shear force* drillship tiap *station* tanpa efek *slamming*

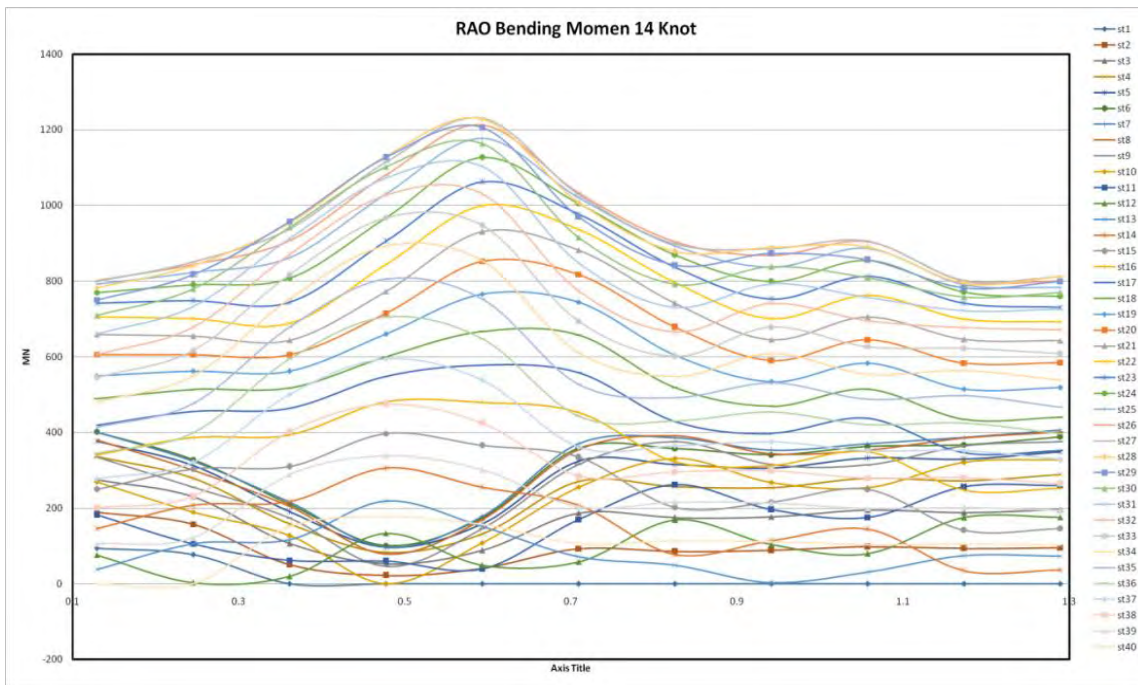


**Gambar 4.60.** RAO *bending moment* drillship tiap station tanpa efek slamming

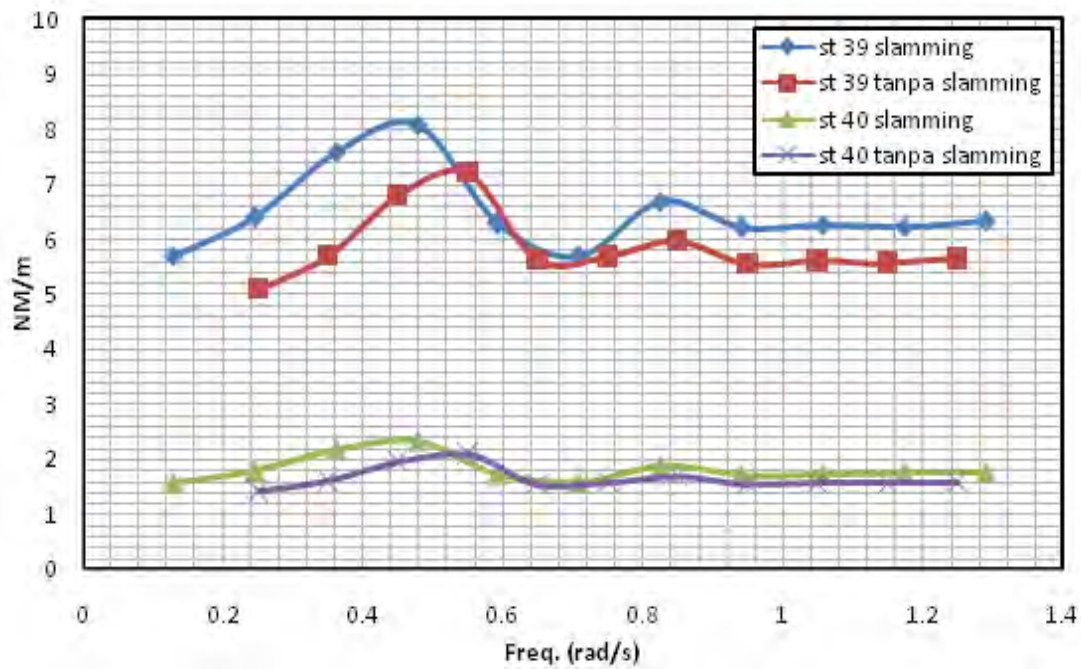


**Gambar 4.61.** RAO *shear force* drillship tiap station dengan efek slamming

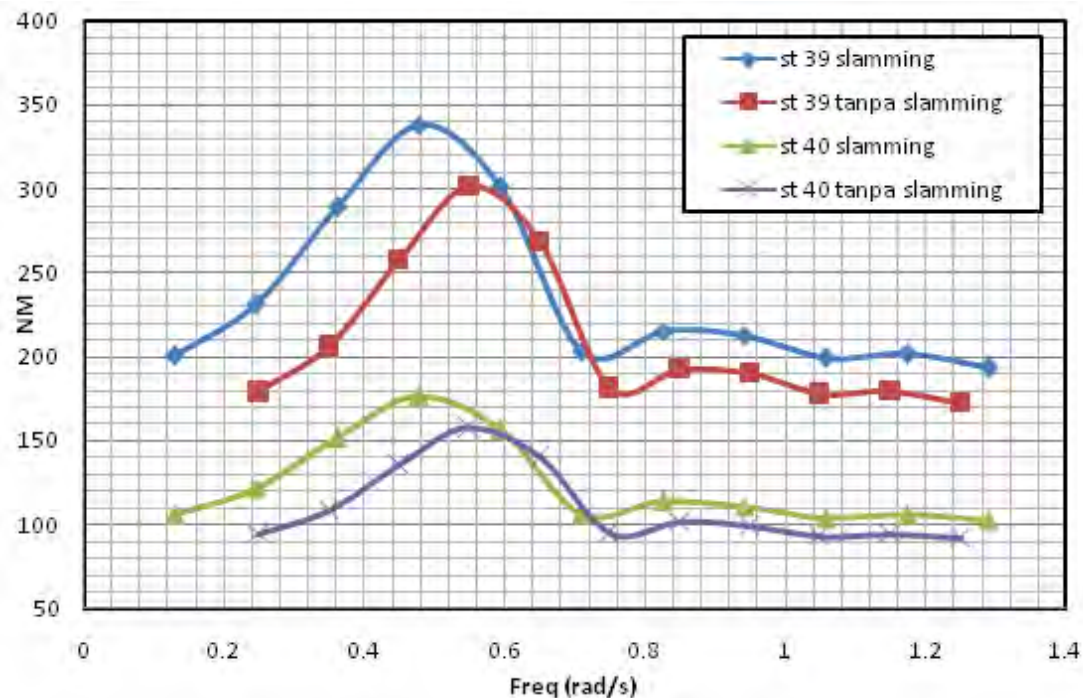




**Gambar 4.62.** RAO bending moment drillship tiap station dengan efek slamming



**Gambar 4.63.** Perbandingan RAO shear force efek slamming



**Gambar 4.64.** Perbandingan RAO *bending moment* efek *slamming*

Gambar 4.59. menggambarkan RAO beban (*shear force*) *quasi statis* struktur dalam keadaan diam tidak bergerak. RAO *shear force* mempunyai harga yang berbeda di setiap *station*. Untuk kepentingan analisis *slamming* pada haluan, maka dilakukan analisis perbandingan RAO *shear force* pada Gambar 4.59 dengan RAO *shear force* pada Gambar 4.61 yang merupakan RAO *shear force* dengan efek *slamming*. Penulis juga menyajikan gambar lebih jelas untuk perubahan yang terjadi akibat efek *slamming* pada struktur yang ditunjukkan dalam Gambar 4.63 yang merupakan RAO *shear force* pada station 39 dan station 40.

Untuk lebih jelas tentang perbedaan RAO baik *shear force* maupun bending momen efek *slamming*, maka penulis mengambil 2 *station* akhir struktur dimana kemungkinan besar terjadinya *slamming* terjadi disekitar 2 *station* tersebut yakni pada *station* 39 dan 40. Gambar 4.63 dan 4.64 menjelaskan perbedaan harga RAO *shear force* & *bending moment* pada saat ada efek *slamming* dan pada saat tanpa efek *slamming* untuk *station* 39 dan 40. Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui bahwasanya RAO pada saat mengalami *slamming* lebih besar dibandingkan pada saat

tanpa memperhatikan efek *slamming*. Hal ini terjadi dikarenakan RAO struktur sendiri mempunyai harga yang lebih besar pada saat berkecepatan (terjadi *slamming*) dibandingkan RAO pada saat struktur diam, tidak mengalami kecepatan (tidak terjadi *slamming*). Sehingga beban yang terjadi pada setiap *station* pun mengalami perbedaan seiring perbedaan kecepatan yang diberikan pada struktur *drillship* tersebut.

Studi RAO terhadap Gambar 4.63 yakni perbandingan RAO *bending moment* efek *slamming*, untuk *station* 39 nilai RAO di frekuensi sub kritis mempunyai nilai rendah dan mulai naik pada frekuensi kritis yakni pada frekuensi 0.477 rad/s mempunyai harga RAO 338 NM kemudian turun ke frekuensi super kritis pada frekuensi 0.75 rad/s yakni sebesar 100 NM. Untuk *station* 40, sama halnya dengan *station* 39 akan tetapi harga RAO *bending moment* nya lebih kecil dari pada *station* 39.

#### **4.5.4. Analisis Respons Struktur Ekstrem pada Gelombang Acak Metode *Quasi-Static***

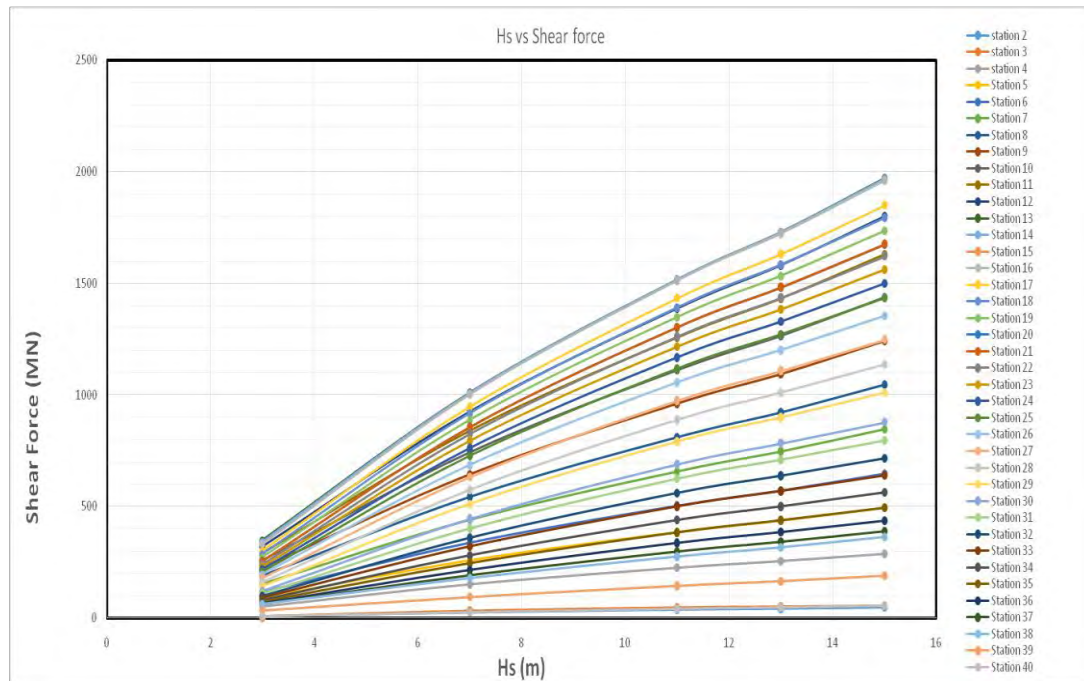
Setelah didapatkan beban *shear force* dan *bending moment*, maka langkah selanjutnya adalah dengan melakukan analisis respons spektra pada gelombang acak. Dengan menggunakan data gelombang dilautan tak terbatas yakni dengan tinggi gelombang mencapai lebih dari 15 m. dalam analisis ini dilakukan analisis terhadap 5 tinggi gelombang yakni 3, 7, 11, 13 dan 15 m. Dengan menggunakan metode transfer *function* RAO kuadrat (SF & BM) dikalikan dengan spektra ITTC/ISSC-1975. Tabel 4.11 merupakan sebagian contoh dari perhitungan respons struktur ekstrem pada *station* 39 dengan  $H_s$  15 m.

Respon spektra dari RAO *shear force* dan *bending moment*, akan diambil harga stokastik dari masing-masing item. Harga stokastik yang ditentukan adalah harga ekstrim atau bisa juga disebut harga maksimal. Dengan kenaikan nilai tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) yaitu dari 3 meter sampai dengan 15 meter akan terlihat *trend* kenaikan *shear force* dan *bending moment* di tiap-tiap *station*. Respons spektra

(SF & BM) mengalami kenaikan harga seiring dengan naiknya tinggi gelombang sebagaimana terlihat pada Gambar 4.65 dan 4.66.

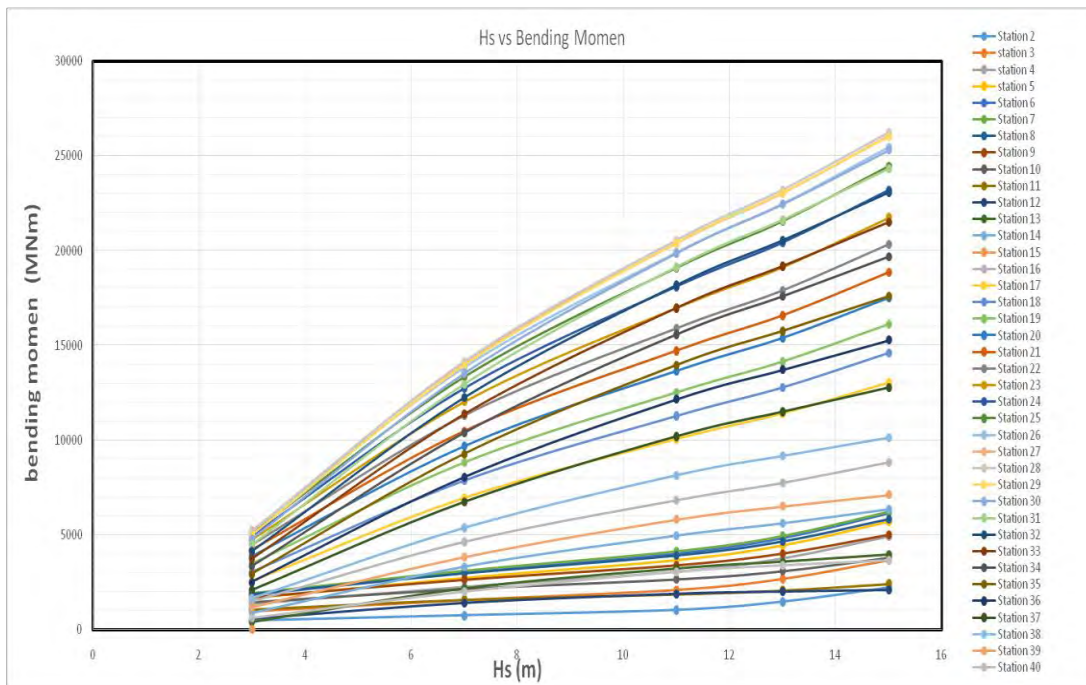
**Tabel 4.11.** Perhitungan respons struktur ekstrem *station 39* dengan spektra ITTC

Hs	15	m												
$\omega$	$S(\omega)$	SM	RAO SF	RAO BM	RAO <sup>2</sup> SF	RAO <sup>2</sup> BM	Sr(w) SF	Sr(w) BM	Sr( $\omega$ ) SF*SM	Sr( $\omega$ ) BM*SM	$\omega^2$ Sr(w) SF*SM	$\omega^2$ Sr(w) BM*SM	$m_0$ SF =	683.07
(rad/s)	(m <sup>2</sup> /rad/s)		(MN/m)	(MN.m/m)	(MN <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	(MN <sup>2</sup> .m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	(MN <sup>2</sup> /rad/s)	(MN <sup>2</sup> .m <sup>2</sup> /rad/s)	(MN <sup>2</sup> /rad/s)	(MN <sup>2</sup> .m <sup>2</sup> /rad/s)	(MN <sup>2</sup> (rad/s))	(MN <sup>2</sup> .m <sup>2</sup> (rad/s))	$m_0$ BM=	945951.29
0.129	0.000000000	1	5.708559	105.5415	32.59	11139.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$m_2$ SF =	131.67
0.245	19.050437916	4	6.396511	121.5347	40.92	14770.67	779.46	281387.82	3117.82	1125551.30	187.15	67561.22	$m_2$ BM=	200631.29
0.361	56.342049206	2	7.598297	288.9223	57.73	83476.10	3252.86	4703214.72	6505.72	9406429.43	847.83	1225855.29		
0.477	24.169983605	4	8.081156	338.0557	65.31	114281.64	1578.42	2762185.25	6313.69	11048741.00	1436.55	2513908.99		
0.593	9.506150581	2	6.287417	300.8941	39.53	90537.24	375.79	860660.66	751.59	1721321.32	264.29	605300.92		
0.709	4.119415920	4	5.675783	203.0982	32.21	41248.89	132.70	169921.32	530.82	679685.28	266.83	341664.87	SF Ext =	190.29
0.825	1.979680202	2	6.688691	215.3222	44.74	46363.67	88.57	91785.23	177.14	183570.47	120.56	124942.65	SF( $\alpha=0.01$ )=	247.74
0.941	1.038051464	4	6.209858	212.762	38.56	45267.69	40.03	46990.19	160.12	187960.75	141.78	166435.67		
1.057	0.584304209	2	6.272136	199.0649	39.34	39626.85	22.99	23154.13	45.97	46308.27	51.36	51737.87		
1.173	0.348467407	4	6.231743	201.4218	38.83	40570.73	13.53	14137.58	54.13	56550.31	74.48	77809.21	BM Ext =	7106.81
1.289	0.217963610	1	6.322545	193.2419	39.97	37342.45	8.71	8139.29	8.71	8139.29	14.48	13523.61	BM( $\alpha=0.01$ )=	9238.88
$\Sigma$ =									17665.70854	24464257.42	3405.319407	5188740.304		
									$\Sigma$ SF	$\Sigma$ BM	$\Sigma$ SF	$\Sigma$ BM		



**Gambar 4.65.** Perubahan kenaikan harga *shear force* terhadap Hs





**Gambar 4.66.** Perubahan kenaikan harga *bending moment* terhadap  $H_s$

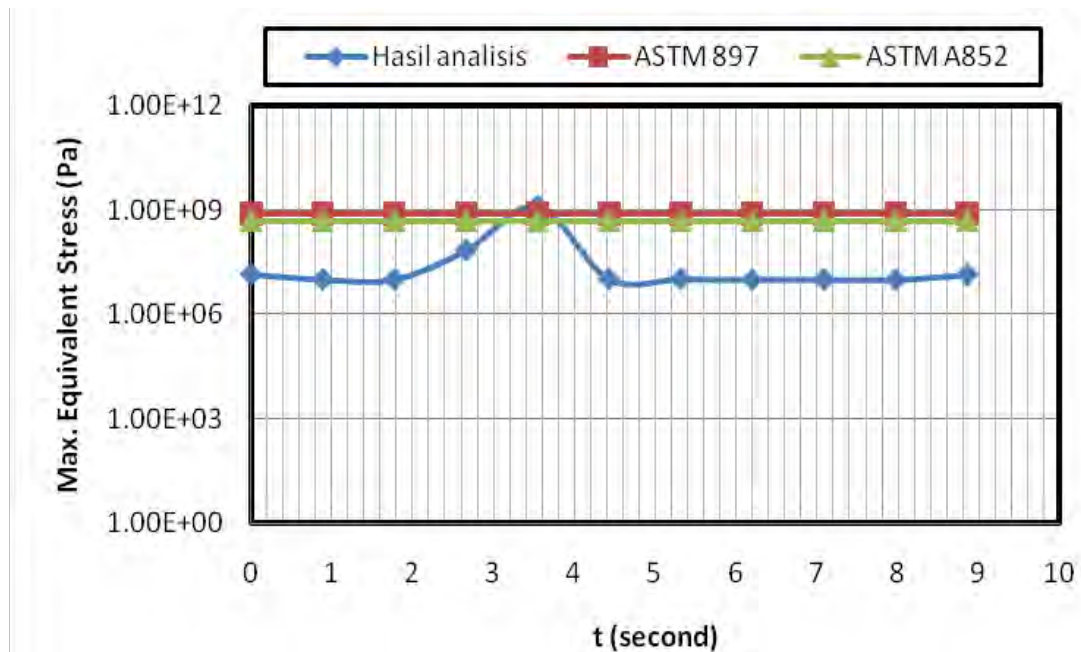
#### 4.5.5. Analisis Struktur Global dengan *Finite Element Methode*

Dalam sub bab ini dilakukan analisis terhadap kekuatan struktur secara global dengan menggunakan *meshing* yang sesuai pada analisis *meshing sensitivity* yakni dengan menggunakan *meshing* ukuran 15.23 mm dengan metode *triangle*. Pada tahap analisis global ini beban yang dimasukkan adalah beban tiap-tiap *station* yang dihitung melalui metode *quasi-statis* yaitu pada gelombang acak. Dengan *boundary condition* masalah struktur *simply support*, dimana bagian buritan *pin* dan bagian haluan *roll*. Pada analisis ini pembebanan hanya untuk satu siklus gelombang regular dibagi menjadi 11 *time step* dengan kondisi *ultimate strength*.

Gambar 4.67 merupakan hasil perhitungan untuk pembebanan satu siklus gelombang, dapat diketahui bahwa pola *stress* mengikuti pola satu siklus gelombang. Pada hasil analisis ini struktur mengalami *ultimate* pada saat *time step* ke-5 baik untuk ditinjau berdasarkan ASTM 897 maupun ditinjau berdasarkan ASTM A852.

**Tabel 4.12.** Hasil perhitungan untuk satu siklus dengan *pin-roll*

Time step ke-	t(detik)	Stress Max. (Pa)	ASTM 897 (Pa)	ASTM A852 (Pa)
1	0.000	1.42E+07	7.58E+08	4.83E+08
2	0.886	1.01E+07	7.58E+08	4.83E+08
3	1.772	1.01E+07	7.58E+08	4.83E+08
4	2.659	7.01E+07	7.58E+08	4.83E+08
5	3.545	1.30E+09	7.58E+08	4.83E+08
6	4.431	1.04E+07	7.58E+08	4.83E+08
7	5.317	1.04E+07	7.58E+08	4.83E+08
8	6.203	9.97E+06	7.58E+08	4.83E+08
9	7.090	1.00E+07	7.58E+08	4.83E+08
10	7.976	9.88E+06	7.58E+08	4.83E+08
11	8.862	1.40E+07	7.58E+08	4.83E+08



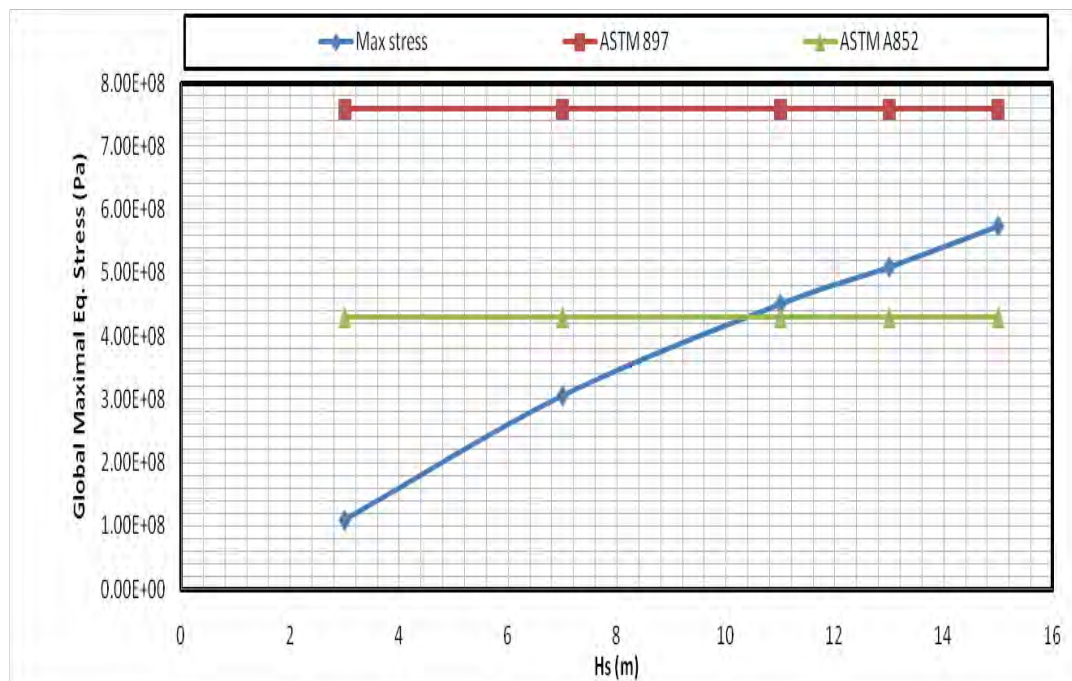
**Gambar 4.67.** Pembebanan untuk satu siklus gelombang

Setelah dilakukan analisis terhadap satu siklus gelombang, maka selanjutnya adalah melakukan analisis kekuatan struktur global berdasarkan perubahan tinggi

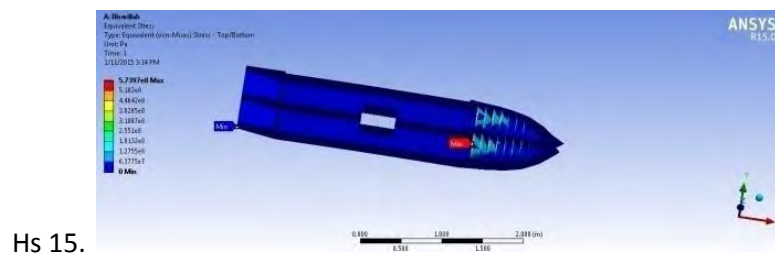
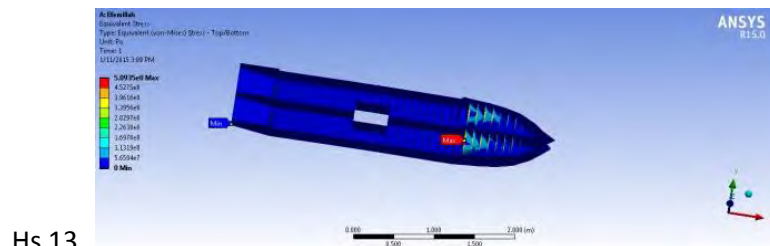
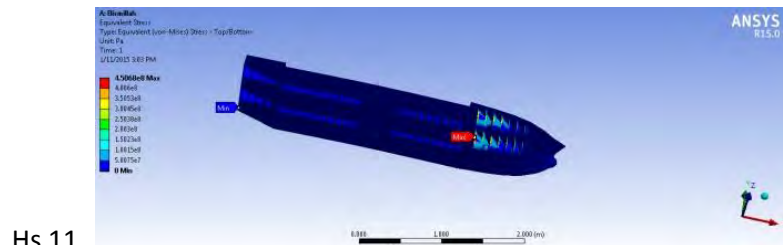
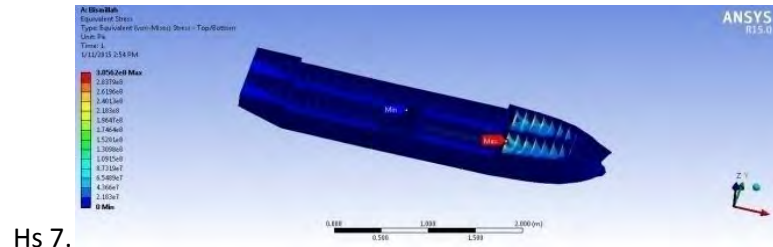
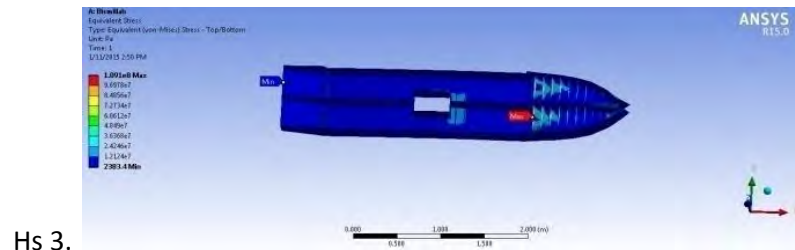
gelombang signifikan yang diberikan. Dalam hal ini variasi tinggi gelombang yang diberikan adalah 3, 7, 11, 13 dan 15 m. Dengan memasukkan pembebanan quasi-statis tiap *station* dan *ultimate strength* sebagaimana pada analisis satu siklus diatas didapatkan hasil sebagaimana Gambar 4.68.

**Tabel 4.13.** Hasil analisa struktur global dengan kriterianya.

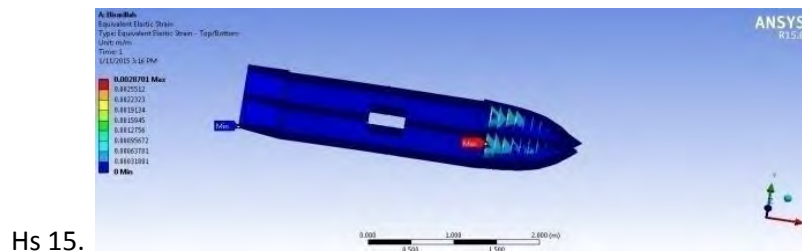
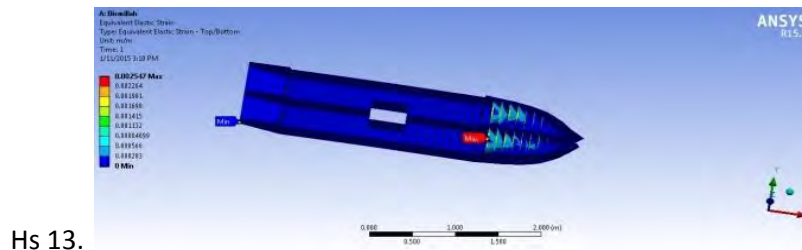
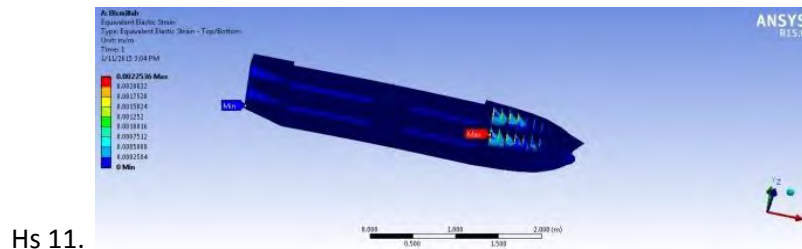
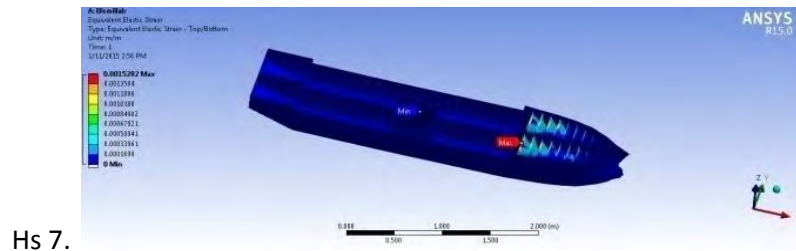
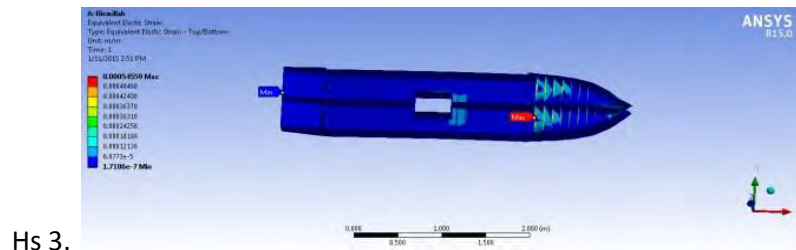
Hs (m)	Max Stress (Pa)	Max Strain (m/m)	Deformation Total (m)	ASTM 897 (Pa)	ASTM A852 (Pa)	Buckling (L/200 from FP) (m)	Buckling (L/250 from FP) (m)	Buckling (L/300 from FP) (m)
3	1.09E+08	0.00054559	0.00087859	7.58E+08	4.30E+08	7.80E-01	6.24E-01	5.20E-01
7	3.06E+08	0.0015282	0.00234	7.58E+08	4.30E+08	7.80E-01	6.24E-01	5.20E-01
11	4.51E+08	0.0022536	0.0034621	7.58E+08	4.30E+08	7.80E-01	6.24E-01	5.20E-01
13	5.09E+08	0.002547	0.0039131	7.58E+08	4.30E+08	7.80E-01	6.24E-01	5.20E-01
15	5.74E+08	0.0028701	0.0044086	7.58E+08	4.30E+08	7.80E-01	6.24E-01	5.20E-01



**Gambar 4.68.** Hasil analisis global *stress* terhadap *ultimate*

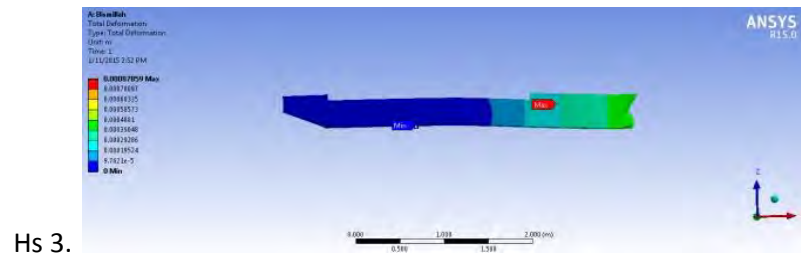


**Gambar 4.69.** Tampilan hasil analisis *max. stress* struktur global (Hs 3 – Hs 15)

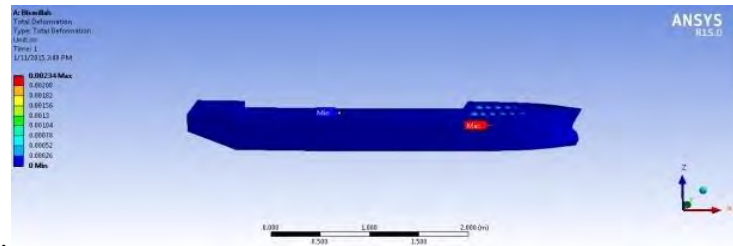


**Gambar 4.70.** Tampilan hasil analisis *max. strain* struktur global (Hs 3 – Hs 15)

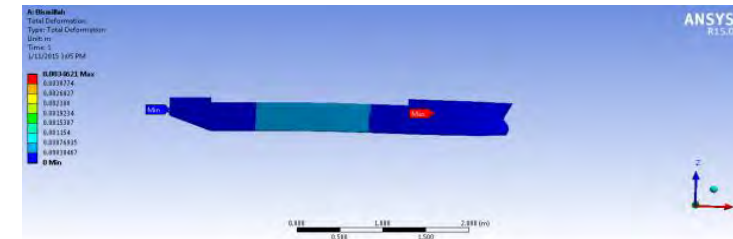




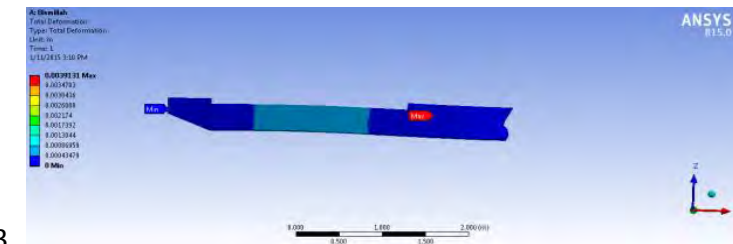
Hs 3.



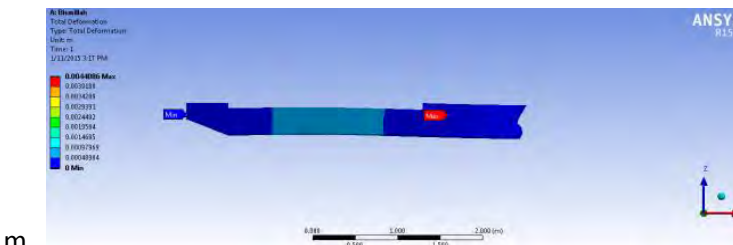
Hs 7.



Hs 11.

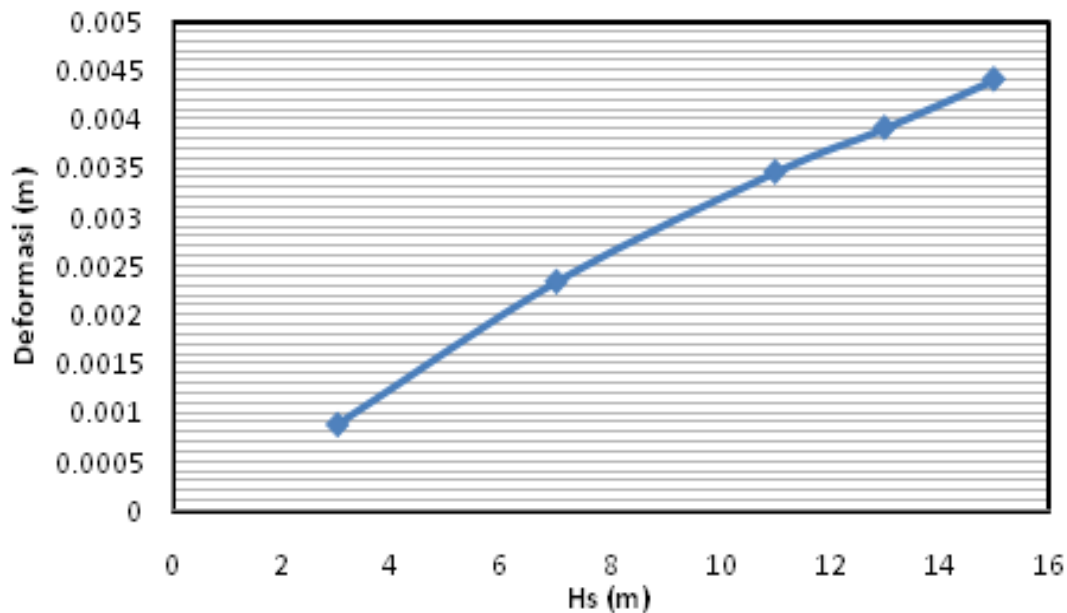


Hs 13.



Hs 15 m.

**Gambar 4.71.** Tampilan hasil analisis *max. deformation* struktur global  
(Hs 3 – Hs 15)



**Gambar 4.72.** Kondisi deformasi maksimal pada struktur global

Berdasarkan hasil analisis diatas, dapat diketahui bahwa struktur mengalami *ultimate* pada saat mencapai tinggi gelombang 11 m ditinjau dari *ultimate secondary* material ASTM A852, sedangkan jika ditinjau dari *ultimate primary* material ASTM 897 sampai pada ketinggian 15 m, struktur masih belum mencapai *ultimate*, gambar lebih jelas disajikan pada Lampiran C. Selain analisis tegangan, dalam hal ini perlu ditinjau deformasi yang terjadi pada struktur dengan tiga kriteria *buckling* yakni L/200, L/250 dan L/300 didapatkan hasil sebagaimana Tabel 4.13 dan dapat dilihat pada Gambar 4.71.

Hasil perhitungan tentang deformasi maksimal yang terjadi pada struktur global berdasarkan Gambar 4.72 diketahui bahwa struktur masih jauh dari kondisi batas deformasi untuk *deck beam* (Paik,2006) sebagaimana batas diatas.

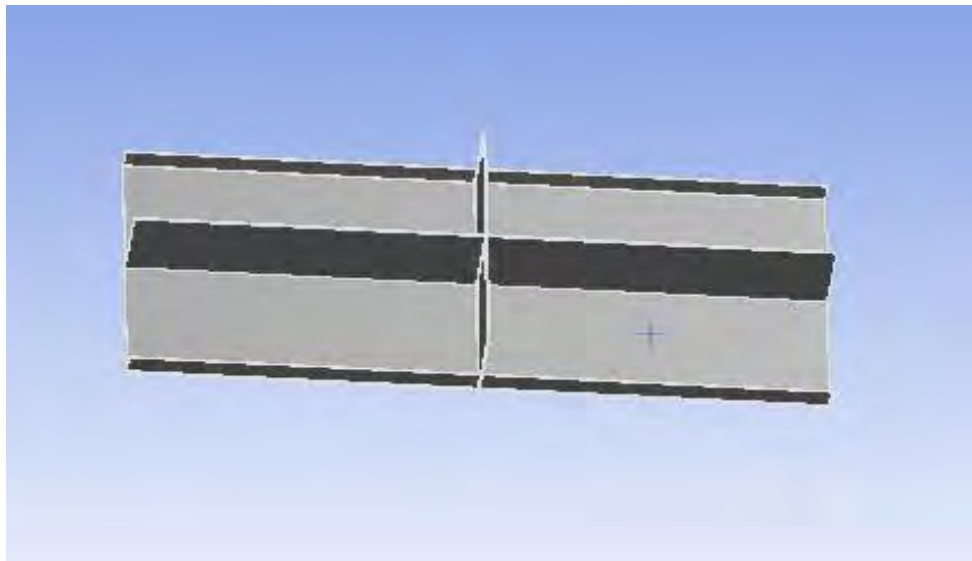
#### **4.5.6. Analisis Struktur Lokal Haluan dengan *Finite Element Methode***

Langkah pertama yang dilakukan dalam analisis struktur lokal ini adalah sama dengan pada saat melakukan analisis global struktur, akan tetapi dalam memberikan pembebanan pada struktur ditambahkan dengan efek tekanan *slamming* dimana

tekanan *slamming* dikonversikan kedalam bentuk pressure/tegangan. sehingga beban yang diberikan pada struktur lokal adalah beban *shear force* bending momen quasi statis ditambahkan tegangan *slamming*. analisa ini juga dilakukan dengan memvariasikan tinggi gelombang sebagaimana yang diberikan pada analisis global diatas.

#### 4.5.6.1 Pemodelan Struktur Lokal Haluan

Untuk kepentingan analisis lokal, struktur yang ditinjau adalah struktur diarea dimana terjadinya *slamming*. panjang struktur lokal adalah 3.8 m dimana struktur tersebut berada diantara *station* FP, 1.9 m setelah dan sesudah FP, sedangkan Lebar struktur adalah jarak antar stiffener yakni 0.8 m.



**Gambar 4.73.** Model struktur lokal haluan *drillship*

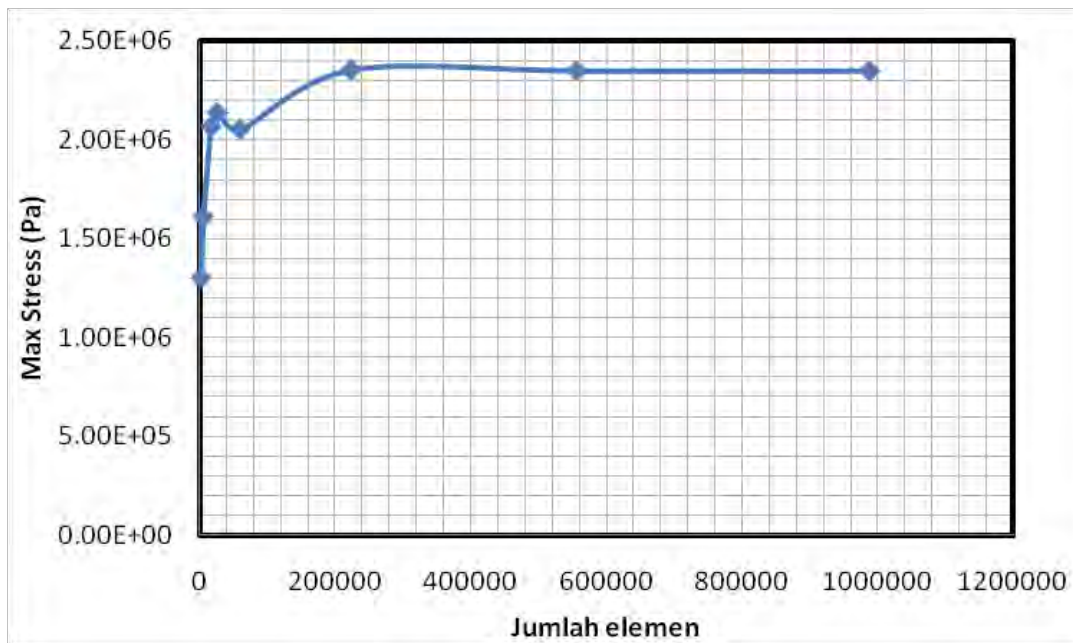
#### 4.5.6.2. Analisis *Meshing* Sensitivitas Struktur Lokal Haluan

Proses analisis meshing sensitivitas struktur lokal dilakukan sebagaimana proses sensitivitas *meshing* pada analisis global, didapatkan harga konvergen *meshing* sebagai berikut.



**Tabel 4.14.** Karakteristik proses *mesh*. *Sensitivity* untuk lokal analisis

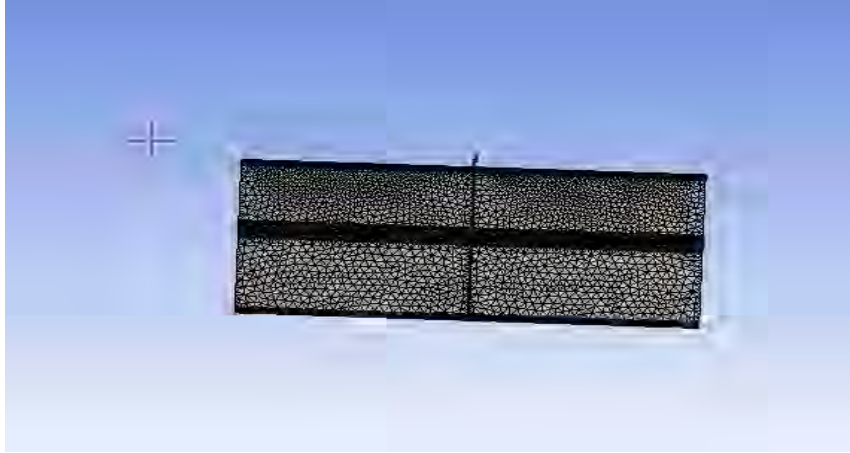
<i>Size</i>	Jumlah Element	<i>Stress Max.</i>
300	2520	1.30E+06
150	5699	1.61E+06
75	17092	2.07E+06
37.5	26445	2.14E+06
18.75	59800	2.05E+06
9.375	223258	2.35E+06
4.6875	556347	2.35E+06
2.34375	987654	2.35E+06
2.28	<i>Insufficient</i>	<i>Insufficient</i>



**Gambar 4.74.** Meshing sensitivitas konvergen berdasarkan output (*Von mises stress*)

Berdasarkan proses sensitivitas *meshing* yang sudah dilakukan untuk analisis lokal struktur diatas dapat diketahui dari Tabel 4.14 dimana kemampuan komputer untuk melakukan proses konvergensi hanya sampai pada *meshing* ukuran 2.343 mm.

untuk kepentingan analisis struktur dengan pembebanan maka *meshing* yang digunakan adalah *meshing* ukuran 9.375 mm karena dimulai dari ukuran tersebut sampai pada ukuran *meshing* 2.34375 mm mempunyai *stress maximal* yang sama.



**Gambar 4.75.** *Meshing* struktur lokal haluan *drillship* ukuran 2.34375 mm

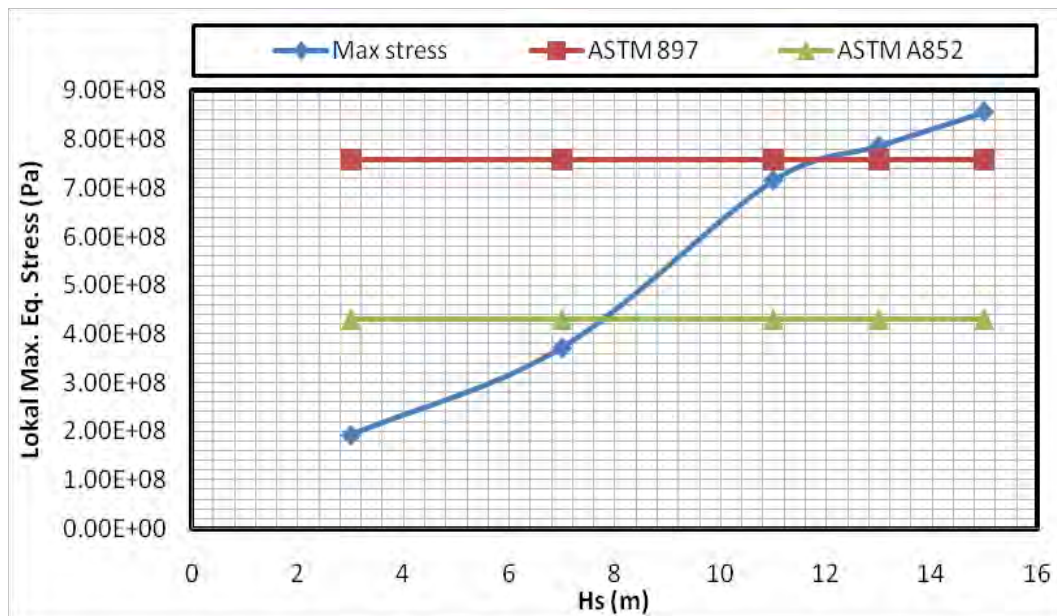
#### 4.5.6.3. Pembebanan pada Struktur Lokal Haluan

Beban yang diberikan dalam analisis ini adalah beban quasi statis pada struktur global untuk *station* diarea lokal struktur. dengan menambahkan tegangan *slamming* berupa pressur pada struktur tersebut. tegangan lokal *slamming* didapatkan dari perkalian antara tekanan *slamming* dengan integral luasan struktur lokal sehingga didapatkan tegangan tiap Hs dalam Tabel 4.15.

**Tabel 4.15.** Tegangan akibat tekanan *slamming*

Hs	Ps (kPa)	Tegangan (kNm <sup>2</sup> )
3	143.74	448.38768
7	278.324	868.37088
11	386.674	1206.4229
13	439.99	1372.7688
15	492.232	1535.7638

Dengan menggunakan *boundary condition fix-fix* didapatkan hasil perhitungan pada Tabel 4.16 yang juga disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana Gambar 4.76.

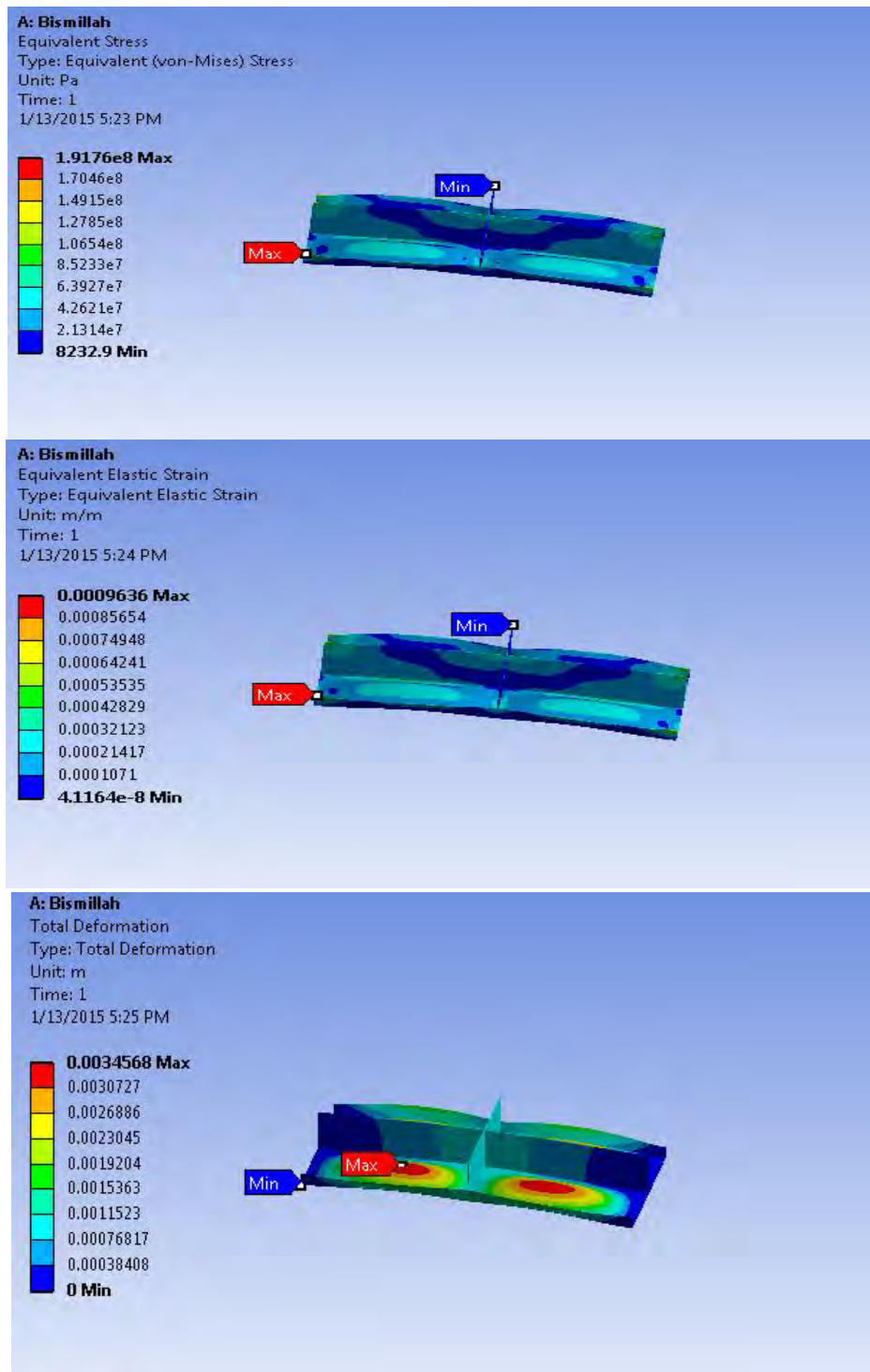


**Gambar 4.76.** Hasil analisis lokal *stress* haluan *drillship* terhadap *ultimate*

Berdasarkan hasil analisis lokal pada struktur diatas dapat diratik kesimpulan dengan meninjau pada Gambar 4.75 tentang *max stress* yang dihasilkan dengan varian Hs akibat efek *slamming*.

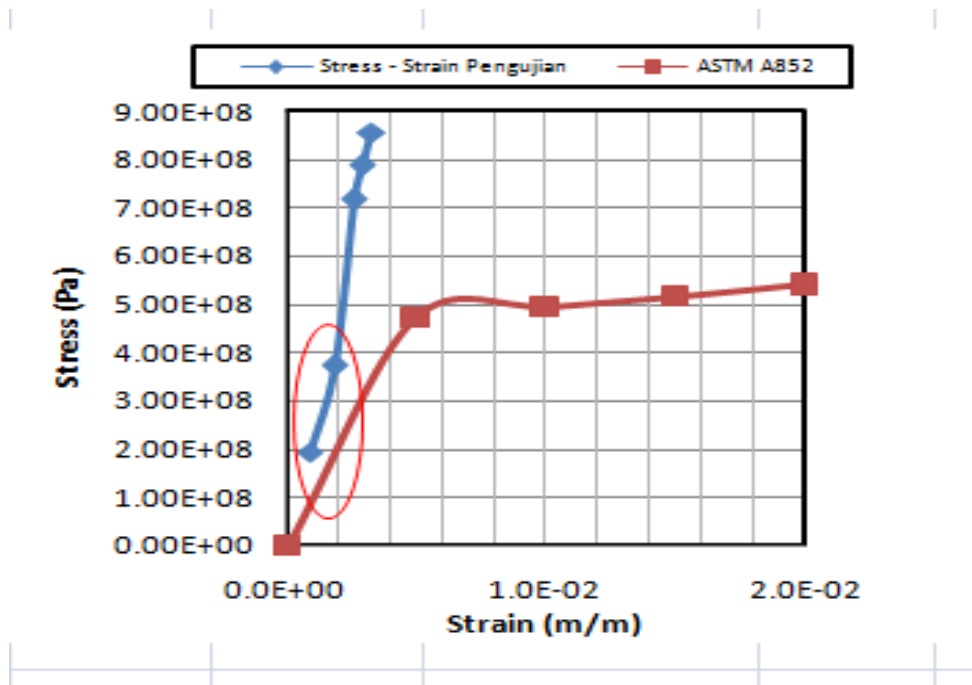
**Tabel 4.16.** Hasil analisa struktur lokal dengan kriterianya

Hs (m)	Max. Stress (Pa)	Max Strain (m)	Deformation Total	Buckling (L/200) meter	Buckling (L/250) meter	Buckling (L/300) meter
3	1.92E+08	0.0009636	0.0034568	1.90E-02	1.52E-02	1.27E-02
7	3.72E+08	0.0018663	0.0066948	1.90E-02	1.52E-02	1.27E-02
11	7.16E+08	0.0025928	0.0093012	1.90E-02	1.52E-02	1.27E-02
13	7.87E+08	0.0029503	0.010584	1.90E-02	1.52E-02	1.27E-02
15	8.57E+08	0.0033007	0.01184	1.90E-02	1.52E-02	1.27E-02



**Gambar 4.77.** Contoh hasil analisis struktur lokal haluan *drillship*

Hasil analisis perhitungan *ultimate stress* struktur lokal berdasarkan Gambar 4.75, dapat dilihat bahwa bahwa struktur mengalami *ultimate* pada saat mencapai tinggi gelombang 11 m ditinjau dari *ultimate secondary* material ASTM A852 yakni 716 MPa, sedangkan jika ditinjau dari *ultimate primary* material ASTM 897 sampai pada ketinggian 13 m, struktur baru mencapai *ultimate* yakni 787 MPa.



**Gambar 4.78.** Grafik *Stress-Strain* material struktur lokal haluan *drillship*

Grafik perbandingan antara *stress-strain* material struktur lokal hasil penelitian dengan *stress-strain* material data ASTM A852. Berdasarkan Gambar 4.77 terlihat bahwa hasil *stress-strain* penelitian berusaha mengikuti *trend* grafik *stress-strain* material baja ASTM A852, akan tetapi masih belum mencapai pendekatan maksimal dikarenakan adanya konsentrasi *stress* pada geometri model dan error yang muncul akibat meshing elemen.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada bab ini dilakukan proses penarikan kesimpulan tentang *study* pengaruh *slamming* terhadap kekuatan struktur global dan lokal *drillship* kondisi *transit*.

1. Karakteristik gerakan relatif vertikal haluan *drillship* pada saat *transit* digambarkan dalam bentuk RAO, dimana RAO tersebut didapat dari kombinasi dari RAO gerakan heave dan pitch. RAO gerakan relatif vertikal haluan maksimal terjadi pada saat *drillship* melaju dengan kecepatan 14 knot di frekuensi rendah 0.187 rad/s yakni 4.432 m/m.
2. Peluang, intensitas dan tekanan *slamming* struktur maksimal terjadi pada saat *drillship transit* dengan kecepatan 14 knot pada Hs 15 m. Dimana karakteristik maksimal *slamming* yakni peluang, intensitas dan tekanan berturut-turut sebagai berikut 0.483 kali, 124.451 kali/jam dan 492.232 kPa.
3. Dampak kombinasi beban *shear force* dan *bending moment* dengan beban akibat tekanan *slamming* mengakibatkan perubahan beban *shear force* dan *bending moment* dalam analisis struktur. Karakteristik respon struktur dinamis (*quasi statis*) yang berupa *shear force* dan *bending moment* digunakan sebagai beban yang diberikan pada *drillship* dengan Metode Elemen Hingga. Analisis Global *drillship* mengalami *ultimate* pada Hs 11 m yakni 451 MPa untuk jenis material logam ASTM A852 (430 MPa). Sedangkan analisis lokal dengan menambahkan gaya yang terjadi akibat tekanan *slamming* didaerah haluan, sehingga mengalami *ultimate* pada Hs sekitar 11 m yakni 716 MPa untuk jenis material ASTM A852 (430 MPa)

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan analisis dengan variasi yang lain, seperti variasi kecepatan dan juga variasi untuk setiap tinggi gelombang dari 1 m sampai 15 m.

2. Perlu dilakukan analisis untuk konstruksi yang lebih detail lagi, karena desain konstruksi struktur sangat mempengaruhi besarnya tekanan yang terjadi pada setiap titik di struktur tersebut.
3. Analisis lokal dengan ukuran dan area yang berbeda.

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A : *Data Desain Drawing Drillship*

Lampiran B : *Input Data Hydrostar*

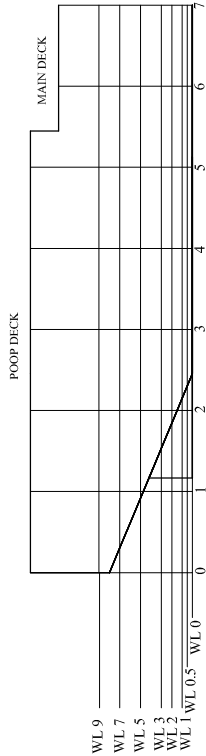
Lampiran C : *Output Data RAO Hydrostar*

Lampiran D : *Distribusi Beban Drillship*

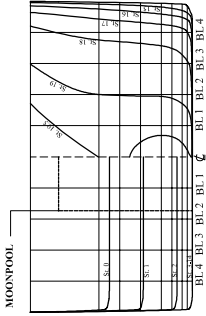
Lampiran E : *Tabel Nilai RAO Shear Force dan Bending Moment*



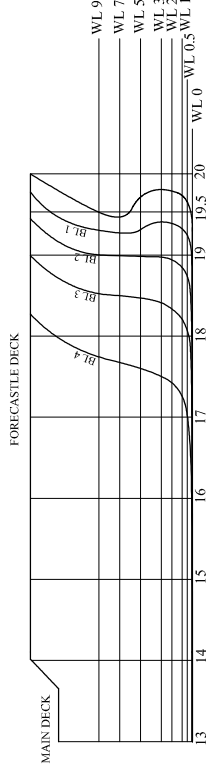
SHEER PLAN



BODY PLAN



SHEER PLAN



HALF BREADTH PLAN

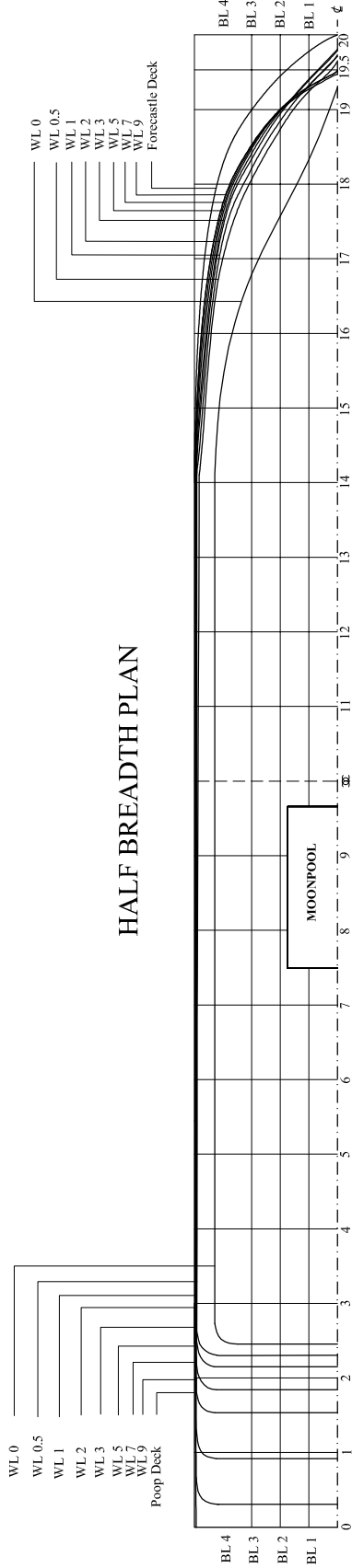



TABLE ORDINATE OF HALF BREADTH (mm)

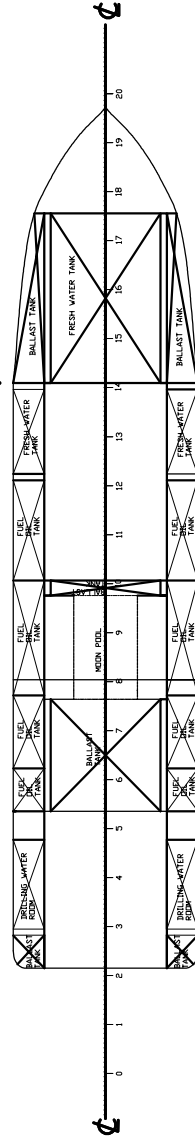
WL	STATION	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
WL 0	-	-	-	-	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807	12807
WL 0.5	-	-	-	-	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676	14676
WL 1	-	-	-	-	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710	14710
WL 2	-	-	-	-	14680	14750	14750	14750	14750	14750	14750	14750	14750	14750	14750	14750	14750	14750	14750	14750	14750	14750
WL 3	-	-	-	-	14731	14770	14770	14770	14770	14770	14770	14770	14770	14770	14770	14770	14770	14770	14770	14770	14770	14770
WL 5	-	-	-	-	14540	14790	14810	14810	14810	14810	14810	14810	14810	14810	14810	14810	14810	14810	14810	14810	14810	14810
WL 7	-	-	-	-	14775	14824	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850
WL 9	-	-	-	-	14740	14830	14870	14876	14876	14876	14876	14876	14876	14876	14876	14876	14876	14876	14876	14876	14876	14876
IN DECK	-	-	-	-	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850	14850

TABLE ORDINATE OF HEIGHT ABOVE BASELINE (mm)

STATION	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BL 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BL 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BL 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BL 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAIN DECK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PRINCIPAL DIMENSION	
Disp.	35000 T
Loa	156 m
Lwl	152.3 m
B	29.9 m
T	9.0 m
H	15.6 m
Cb	0.837
Moonpool Length	16.9 m
Moonpool width	10.4 m
Type	Drilling Ship

<div><div>DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY</div></div>	
TITLE :	LINES PLAN
NAME OF SHIP :	DEWA ORIBIS
SCALE :	
DRAWN BY :	Muhammad Yunus NRP-4309100089
SIGN :	
DATE :	
APPROVED BY :	Prof. Dr. Ir. Eko Budi Diantiko, M.Sc NIP. 195812281984039002
SIGN :	
DATE :	



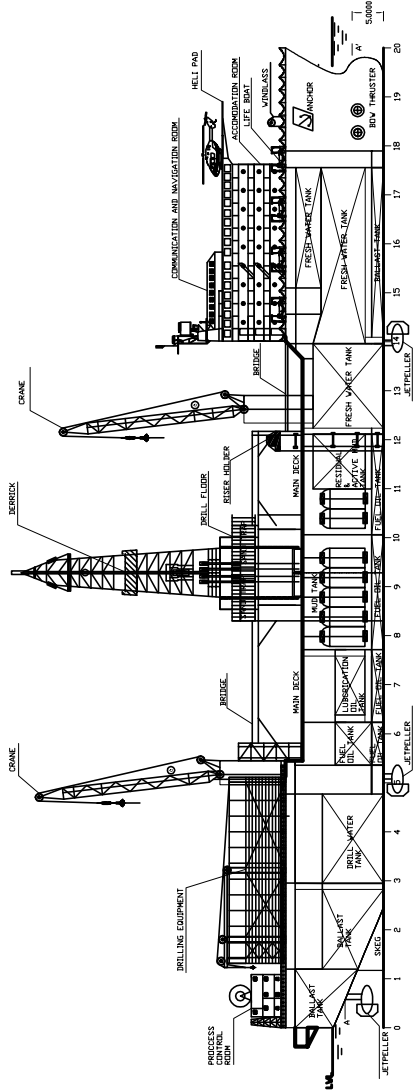
LENGTH OVER ALL(LoA)	=	156	m
LENGTH OF WATER LINE (wl)	=	152	m
DEPTH (H)	=	15.6	m
DRAUGHT (T)	=	9	m
MOONPOOL LENGTH	=	16.9	m
MOONPOOL WIDTH	=	10.4	m
CREW	=	136	person
MAIN ENGINE X 1	=	24	MW
Speed (Vs)	=	14	Knot



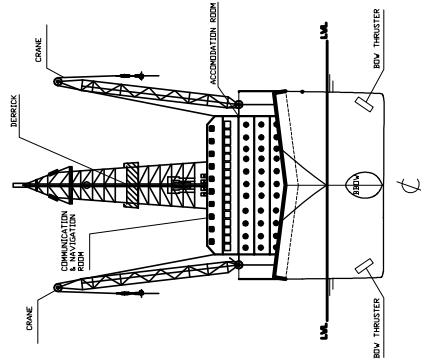
**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUTE TECHNOLOGY OF SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**

DRAWING TITLE : <b>GENERAL ARRANGEMENT</b>		SHIP'S NAME : <b>DEWA ORIBIS</b>	
DRAWN BY : I Dewa Gede Adi Surya y	DATE	SIGN	DRAWING NO :
			SCALE
APPROVED BY : Prof.Dr.Ir.Eko Budi D., M.Sc.		REVISION	0 1 2 3

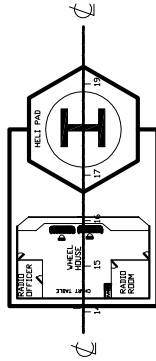
SIDE VIEW



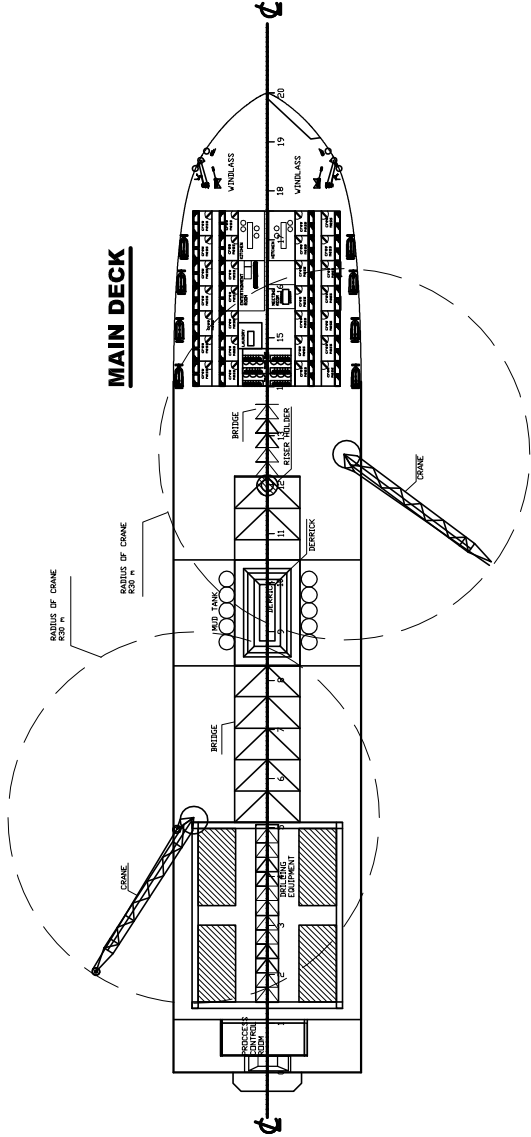
FRONT VIEW



NAVIGATION DECK

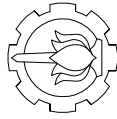


MAIN DECK



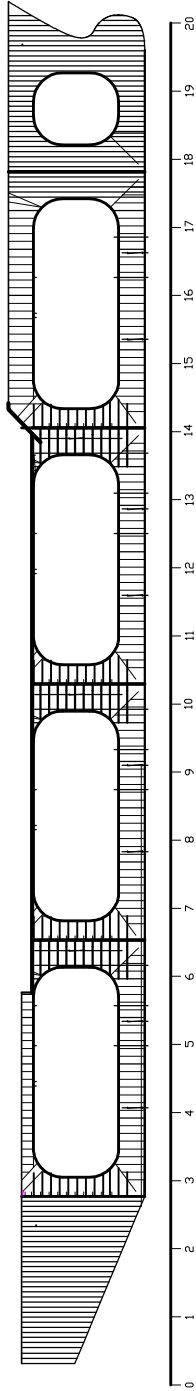
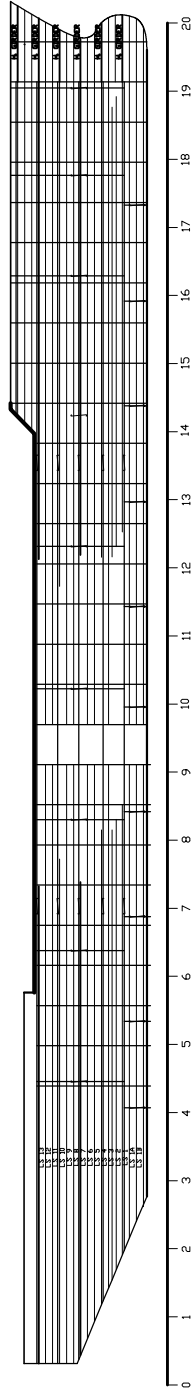
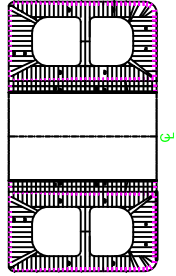
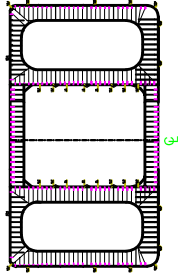
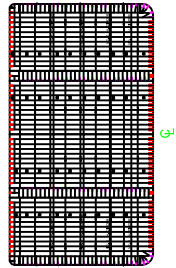
PRINCIPAL PARTICULAR :

LENGTH OVER ALL(LoA)	=	156	m
LENGTH OF WATER LINE (lwL)	=	152	m
DEPTH (H)	=	15.6	m
DRAUGHT (T)	=	9	m
MOONPOOL LENGTH	=	16.9	m
MOONPOOL WIDTH	=	10.4	m
CREW	=	136	person
MAIN ENGINE X 1	=	24	MW
Speed (Vs)	=	14	Knot



DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUTE TECHNOLOGY OF SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

DRAWING TITLE : <b>GENERAL ARRANGEMENT</b>		SHIP'S NAME : <b>DEWA ORIBIS</b>	
	DATE	SIGN	DRAWING NO :
DRAWN BY : I Dewa Gele Adi Surya Y			SCALE
CHECKED BY :			
APPROVED BY : Prof.Dr.Ir.Eko Budi D., M.Sc.			REVISION 0 1 2 3



DRAWING TITLE :		SHIP'S NAME :	
GENERAL ARRANGEMENT		DEWA ORIBIS	
DRAWN BY :	DATE	SIGN	DRAWING NO :
I Dewa Gede Adi Surya Y			SCALE
APPROVED BY :			REVISION
Prof.Dr.Ir.Eko Budil D., M.Sc.			0 1 2 3

## DESAIN DRILLSHIP

```

Format 4          ! absolute length unit
156 29.9 1        ! vessel length. width. number of sections
                  ! longitudinal position of section. number of point the section

-3.484 4
0      15.273 0
0.497 15.6    0
0      15.273 0
0      15.6    0

-2.5 3
0      13.639 0
2.224 15.6    0
0      13.639 0

-2 9
0      12.786 0
0      4.072 0
0      1.843 0
0.035 2      0
0.167 3      0
2.928 15.6    0
0      12.786 0
0      4.072 0
0      1.843 0

-1 12
0      11.008 0
0      5.432 0
0      0.515 0
2.99 14.448 0
0.427 1      0
0.972 2      0
1.124 3      0
0.452 5      0
4.206 15.6    0
0      11.008 0
0      5.432 0
0      0.515 0

0 13
0 9      0
0 6.068 0
0 0.166 0
2.99 12.985 0
0.672 0.5 0
1.367 1      0
1.965 2      0

```

2.092	3	0
1.443	5	0
5.343	15.6	0
0	9	0
0	6.068	0
0	0.166	0

0.316	15	
0	8.156	0
0	6.491	0
0	0.106	0
2.99	12.434	0
0.43	9	0
0.964	0.5	0
1.698	1	0
2.273	2	0
2.397	3	0
1.75	5	0
0.43	9	0
5.675	15.6	0
0	8.156	0
0	6.491	0
0	0.106	0

4.116	13	
0	0	0
2.99	0.099	0
5.98	6.36	0
6.233	9	0
4.612	0.5	0
5.126	1	0
5.63	2	0
5.817	3	0
5.88	5	0
6.034	7	0
6.233	9	0
0	0	0
8.937	15.6	0

7.916	14	
0	0	0
2.99	0.031	0
5.98	0.196	0
8.97	7.011	0
9.134	9	0
7.038	0.5	0
7.667	1	0
8.165	2	0
8.51	3	0
8.807	5	0

8.969	7	0
9.134	9	0
0	0	0
11.231	15.6	0

11.716	15	
0	0	0
2.99	0.014	0
5.98	0.072	0
8.97	0.404	0
11.96	13.513	0
11.148	9	0
9.122	0.5	0
9.713	1	0
10.339	2	0
10.588	3	0
10.822	5	0
10.986	7	0
11.148	9	0
0	0	0
12.522	15.599	0

15.516	15	
0	0	0
2.99	0.008	0
5.98	0.036	0
8.97	0.117	0
11.96	3.719	0
12.36	9	0
10.767	0.5	0
11.373	1	0
11.742	2	0
11.886	3	0
12.069	5	0
12.211	7	0
12.36	9	0
0	0	0
13.312	15.598	0

19.316	15	
0	0	0
2.99	0.006	0
5.98	0.025	0
8.97	0.071	0
11.96	0.548	0
13.129	9	0
11.88	0.5	0
12.293	1	0
12.546	2	0
12.664	3	0

12.833	5	0
12.971	7	0
13.129	9	0
0	0	0
13.845	15.597	0

23.116	15	
0	0	0
2.99	0.006	0
5.98	0.021	0
8.97	0.052	0
11.96	0.213	0
13.688	9	0
12.651	0.5	0
12.892	1	0
13.103	2	0
13.214	3	0
13.382	5	0
13.527	7	0
13.688	9	0
0	0	0
14.222	15.596	0

26.916	15	
0	0	0
2.99	0.007	0
5.98	0.02	0
8.97	0.043	0
11.96	0.114	0
14.106	9	0
13.126	0.5	0
13.34	1	0
13.531	2	0
13.643	3	0
13.815	5	0
13.965	7	0
14.106	9	0
0	0	0
14.492	15.594	0

30.716	15	
0	0	0
2.99	0.008	0
5.98	0.02	0
8.97	0.039	0
11.96	0.083	0
14.412	9	0
13.48	0.5	0
13.702	1	0
13.884	2	0



14.001	3	0
14.176	5	0
14.304	7	0
14.412	9	0
0	0	0
14.685	15.593	0

34.516	15	
0	0	0
2.99	0.01	0
5.98	0.021	0
8.97	0.037	0
11.96	0.067	0
14.628	9	0
13.773	0.5	0
14.006	1	0
14.198	2	0
14.323	3	0
14.462	5	0
14.553	7	0
14.628	9	0
0	0	0
14.817	15.591	0

38.316	15	
0	0	0
2.99	0.011	0
5.98	0.024	0
8.97	0.037	0
11.96	0.057	0
14.775	9	0
14.046	0.5	0
14.297	1	0
14.511	2	0
14.585	3	0
14.666	5	0
14.726	7	0
14.775	9	0
0	0	0
14.902	15.59	0

42.116	15	
0	0	0
2.99	0.013	0
5.98	0.026	0
8.97	0.039	0
11.96	0.05	0
14.869	9	0
14.37	0.5	0
14.671	1	0

14.725	2	0
14.757	3	0
14.803	5	0
14.838	7	0
14.869	9	0
0	0	0
14.949	15.588	0

45.916	15	
0	0.05	0
2.99	0.037	0
5.98	0.023	0
8.97	0.011	0
11.96	0	0
14.869	9	0
14.124	0.5	0
14.577	1	0
14.717	2	0
14.753	3	0
14.801	5	0
14.838	7	0
14.869	9	0
0	0.05	0
14.95	15.599	0

49.716	15	
0	0.05	0
2.99	0.037	0
5.98	0.023	0
8.97	0.011	0
11.96	0	0
14.862	9	0
14.062	0.5	0
14.519	1	0
14.711	2	0
14.747	3	0
14.796	5	0
14.832	7	0
14.862	9	0
0	0.05	0
14.94	15.6	0

53.516	15	
0	0.05	0
2.99	0.037	0
5.98	0.023	0
8.97	0.011	0
11.96	0	0
14.854	9	0
14.01	0.5	0

14.462	1	0
14.705	2	0
14.742	3	0
14.79	5	0
14.825	7	0
14.854	9	0
0	0.05	0
14.93	15.6	0

57.316	15	
0	0.05	0
2.99	0.037	0
5.98	0.023	0
8.97	0.011	0
11.96	0	0
14.846	9	0
13.968	0.5	0
14.406	1	0
14.698	2	0
14.737	3	0
14.785	5	0
14.818	7	0
14.846	9	0
0	0.05	0
14.919	15.6	0

61.116	15	
0	0.05	0
2.99	0.037	0
5.98	0.023	0
8.97	0.011	0
11.96	0	0
14.839	9	0
13.932	0.5	0
14.352	1	0
14.69	2	0
14.732	3	0
14.779	5	0
14.812	7	0
14.839	9	0
0	0.05	0
14.908	15.6	0

64.916	15	
0	0.05	0
2.99	0.037	0
5.98	0.023	0
8.97	0.011	0
11.96	0.001	0
14.831	9	0

13.916	0.5	0
14.326	1	0
14.685	2	0
14.728	3	0
14.774	5	0
14.806	7	0
14.831	9	0
0	0.05	0
14.898	15.6	0

68.716	15	
0	0.05	0
2.99	0.037	0
5.98	0.023	0
8.97	0.012	0
11.96	0.004	0
14.824	9	0
13.936	0.5	0
14.36	1	0
14.69	2	0
14.73	3	0
14.773	5	0
14.8	7	0
14.824	9	0
0	0.05	0
14.887	15.6	0

72.516	15	
0	0.05	0
2.99	0.037	0
5.98	0.024	0
8.97	0.013	0
11.96	0.007	0
14.822	9	0
13.958	0.5	0
14.394	1	0
14.695	2	0
14.733	3	0
14.775	5	0
14.802	7	0
14.822	9	0
0	0.05	0
14.876	15.6	0

76.316	15	
0	0.05	0
2.99	0.036	0
5.98	0.024	0
8.97	0.015	0
11.96	0.009	0

14.825	9	0
13.982	0.5	0
14.428	1	0
14.699	2	0
14.735	3	0
14.777	5	0
14.805	7	0
14.825	9	0
0	0.05	0
14.866	15.6	0

80.116	15	
0	0.047	0
2.99	0.034	0
5.98	0.024	0
8.97	0.017	0
11.96	0.012	0
14.828	9	0
14.01	0.5	0
14.463	1	0
14.703	2	0
14.738	3	0
14.78	5	0
14.808	7	0
14.828	9	0
0	0.047	0
14.869	15.6	0

83.916	15	
0	0.044	0
2.99	0.033	0
5.98	0.024	0
8.97	0.018	0
11.96	0.015	0
14.831	9	0
14.041	0.5	0
14.499	1	0
14.707	2	0
14.741	3	0
14.782	5	0
14.81	7	0
14.831	9	0
0	0.044	0
14.875	15.6	0

87.716	15	
0	0.041	0
2.99	0.032	0
5.98	0.025	0
8.97	0.02	0

11.96	0.017	0
14.835	9	0
14.076	0.5	0
14.534	1	0
14.71	2	0
14.743	3	0
14.784	5	0
14.813	7	0
14.835	9	0
0	0.041	0
14.88	15.6	0

91.516	15	
0	0.038	0
2.99	0.03	0
5.98	0.025	0
8.97	0.022	0
11.96	0.02	0
14.838	9	0
14.116	0.5	0
14.57	1	0
14.714	2	0
14.746	3	0
14.787	5	0
14.816	7	0
14.838	9	0
0	0.038	0
14.886	15.6	0

95.316	15	
0	0.035	0
2.99	0.029	0
5.98	0.025	0
8.97	0.023	0
11.96	0.023	0
14.841	9	0
14.162	0.5	0
14.606	1	0
14.717	2	0
14.748	3	0
14.789	5	0
14.818	7	0
14.841	9	0
0	0.035	0
14.892	15.6	0

99.116	15	
0	0.032	0
2.99	0.028	0
5.98	0.026	0

8.97	0.025	0
11.96	0.025	0
14.844	9	0
14.215	0.5	0
14.642	1	0
14.72	2	0
14.751	3	0
14.792	5	0
14.821	7	0
14.844	9	0
0	0.032	0
14.898	15.6	0

102.916	15	
0	0.028	0
2.99	0.026	0
5.98	0.026	0
8.97	0.027	0
11.96	0.028	0
14.848	9	0
14.276	0.5	0
14.664	1	0
14.723	2	0
14.753	3	0
14.794	5	0
14.824	7	0
14.848	9	0
0	0.028	0
14.904	15.6	0

106.716	15	
0	0.025	0
2.99	0.025	0
5.98	0.026	0
8.97	0.028	0
11.96	0.031	0
14.851	9	0
14.339	0.5	0
14.673	1	0
14.727	2	0
14.756	3	0
14.796	5	0
14.827	7	0
14.851	9	0
0	0.025	0
14.91	15.6	0

110.516	15	
0	0.022	0
2.99	0.024	0

5.98	0.026	0
8.97	0.03	0
11.96	0.034	0
14.855	9	0
14.403	0.5	0
14.681	1	0
14.73	2	0
14.758	3	0
14.799	5	0
14.829	7	0
14.855	9	0
0	0.022	0
14.915	15.6	0

114.316	15	
0	0.019	0
2.99	0.022	0
5.98	0.027	0
8.97	0.032	0
11.96	0.036	0
14.858	9	0
14.467	0.5	0
14.687	1	0
14.733	2	0
14.761	3	0
14.801	5	0
14.832	7	0
14.858	9	0
0	0.019	0
14.921	15.6	0

118.116	15	
0	0.016	0
2.99	0.021	0
5.98	0.027	0
8.97	0.033	0
11.96	0.039	0
14.861	9	0
14.53	0.5	0
14.692	1	0
14.735	2	0
14.763	3	0
14.804	5	0
14.835	7	0
14.861	9	0
0	0.016	0
14.927	15.6	0

121.916	15	
0	0.013	0



2.99	0.02	0
5.98	0.027	0
8.97	0.035	0
11.96	0.042	0
14.865	9	0
14.593	0.5	0
14.697	1	0
14.738	2	0
14.766	3	0
14.807	5	0
14.838	7	0
14.865	9	0
0	0.013	0
14.933	15.6	0

125.716	15	
0	0.009	0
2.99	0.018	0
5.98	0.028	0
8.97	0.037	0
11.96	0.044	0
14.868	9	0
14.653	0.5	0
14.702	1	0
14.741	2	0
14.768	3	0
14.809	5	0
14.841	7	0
14.868	9	0
0	0.009	0
14.939	15.6	0

129.516	15	
0	0.006	0
2.99	0.017	0
5.98	0.028	0
8.97	0.038	0
11.96	0.047	0
14.872	9	0
14.669	0.5	0
14.706	1	0
14.744	2	0
14.771	3	0
14.812	5	0
14.844	7	0
14.872	9	0
0	0.006	0
14.944	15.6	0

133.316 15

0	0.066	0
2.99	0.078	0
5.98	0.091	0
8.97	0.102	0
11.96	0.112	0
14.875	9	0
14.67	0.5	0
14.707	1	0
14.745	2	0
14.772	3	0
14.814	5	0
14.847	7	0
14.875	9	0
0	0.066	0
14.95	15.6	0

137.116	13	
0	1.653	0
2.99	1.663	0
5.98	1.672	0
8.97	1.682	0
11.96	1.69	0
14.864	9	0
14.65	2	0
14.729	3	0
14.789	5	0
14.831	7	0
14.864	9	0
0	1.653	0
14.95	15.598	0

140.916	11	
0	3.239	0
2.99	3.247	0
5.98	3.254	0
8.97	3.261	0
11.96	3.267	0
14.85	9	0
14.75	5	0
14.808	7	0
14.85	9	0
0	3.239	0
14.95	15.595	0

144.716	11	
0	4.826	0
2.99	4.831	0
5.98	4.836	0
8.97	4.841	0
11.96	4.845	0

14.83	9	0
14.349	5	0
14.773	7	0
14.83	9	0
0	4.826	0
14.95	15.593	0

148.516	10	
0	6.413	0
2.99	6.416	0
5.98	6.418	0
8.97	6.42	0
11.96	6.422	0
14.798	9	0
14.695	7	0
14.798	9	0
0	6.413	0
14.95	15.59	0

152.316	29	
0	8	0
2.99	8	0
5.98	8	0
8.97	8	0
11.96	8	0
14.736	9	0
14.736	9	0
0	8	0
14.95	15.588	0
14.95	15.588	0
14.903	13.542	0
14.856	11.836	0
14.809	10.467	0
14.763	9.438	0
14.716	8.748	0
14.669	8.396	0
14.621	8.323	0
14.569	8.281	0
14.512	8.245	0
14.45	8.213	0
14.383	8.186	0
14.311	8.164	0
14.234	8.147	0
14.156	8.131	0
14.078	8.116	0
14	8.1	0
13.922	8.084	0
13.844	8.069	0
13.766	8.053	0

154.05	10	
0	12.323	0
0	4.624	0
0	1.173	0
2.99	15.349	0
0.267	2	0
0.419	3	0
3.282	15.6	0
0	12.323	0
0	4.624	0
0	1.173	0
156	1	
0	15.6	0

## DRILLSHIP.MCN

FILENAME drillship

MASS\_BODY 1 35000000  
GYRADIUS\_BODY 1 12 39 39 0.0 0.0 0.0  
COGPOINT\_BODY1 152.88 0.0 -9

WAVEAMPLITUDE 1

DAMPING\_MATRIX TYPE 1  
4 4 0.7086E8  
ENDDAMPING\_MATRIX

QDAMPING\_MATRIX TYPE 1  
4 4 0.4669E11  
ENDQDAMPING\_MATRIX

ENDFILE

## DRILLSHIP.MRI

drillship

HULF

4 ! A format of .hul file

drillship.hul

IXDEF

1

TYPF

1

152 8

156 4

TYP A

0

DRAUGHT

9

IRR

1

MOON

58.431

75.331

10.4

MPAR

200 20

0

ENDMR

## OUTPUT RAO HYDROSTAR

```
Project :
# User   :
# File   : drillshipX3.rao
#
# Constants used in computations :
# Reference length   : 1.0000
# Water density (rho) : 1025.0000
# Gravity acceleration : 9.8100
# Waterdepth        : Inf.
# Ref.pt incident wave : ( 77.1233 0.0000)
# Forward speed     : 7.0000 m/s
#
# Reference point of body 1: ( 152.880 0.000 -9.000)
# MEANVALUE : 0.0000E+00
# AMP/PHASE
#-----
#RAOTYPE : MOTION
#COMPONENT : 3
#UNIT : m/m
#NBHEADING 1
#HEADING 180.00
#---w(r/s)-----
0.2500 1.000245E+00 345.8843
0.3000 1.345575E+00 3.2538
0.3500 8.913234E-01 181.3737
0.4000 1.855299E-01 222.7954
0.4500 2.911799E-01 116.6868
0.5000 3.897107E-01 354.1808
0.5500 2.670097E-01 329.7536
0.6000 3.411771E-01 82.8934
0.6500 1.170403E-01 10.1926
0.7000 1.530055E-01 63.2285
0.7500 2.708227E-01 235.4273
0.8000 7.666625E-02 130.7277
0.8500 1.788113E-01 340.8259
0.9000 2.298161E-02 223.4496
0.9500 2.108412E-02 176.8363
1.0000 3.593765E-02 42.6642
1.0500 8.326887E-03 43.7787
1.1000 8.448339E-03 150.6043
1.1500 1.379634E-02 71.2443
1.2000 2.426297E-02 146.6535
1.2500 1.300633E-02 178.8558
1.3000 1.127050E-02 181.3577
1.3500 1.019218E-02 221.9603
1.4000 8.789145E-02 64.5753
1.4500 3.853479E-03 228.6113
1.5000 1.148138E-02 178.2194
```

```

1.5500 3.601109E-03 224.4047
1.6000 5.355078E-03 142.2075
1.6500 5.473582E-03 197.3163
1.7000 1.856067E-03 156.8590
#-----
#ENDFILE drillshipX3.rao

# Project :
# User   :
# File : drillshipX5.rao
#
# Constants used in computations :
# Reference length : 1.0000
# Water density (rho) : 1025.0000
# Gravity acceleration : 9.8100
# Waterdepth : Inf.
# Ref.pt incident wave : ( 77.1233 0.0000)
# Forward speed : 7.0000 m/s
#
# Reference point of body 1: ( 152.880 0.000 -9.000)
# MEANVALUE : 0.0000E+00
# AMP/PHASE
#-----
#RAOTYPE : MOTION
#COMPONENT : 5
#UNIT : deg/m
#NBHEADING 1
#HEADING 180.00
#---w(r/s)-----
0.2500 5.452634E-01 225.0188
0.3000 1.477476E+00 240.1651
0.3500 1.925836E+00 32.2628
0.4000 5.024296E-01 34.9849
0.4500 4.383631E-01 311.3037
0.5000 2.422810E-01 160.6406
0.5500 1.544429E-01 30.5833
0.6000 4.720279E-01 332.4331
0.6500 3.959907E-01 269.9502
0.7000 2.546691E-01 248.0876
0.7500 9.577840E-02 326.5275
0.8000 3.686362E-01 346.6153
0.8500 5.455703E-01 119.4130
0.9000 5.577240E-02 95.8505
0.9500 7.155138E-02 165.3993
1.0000 6.985159E-02 80.2016
1.0500 3.891410E-02 8.2061
1.1000 1.507964E-02 329.0755
1.1500 3.129282E-02 250.5801
1.2000 6.321311E-02 155.7038

```



1.2500	2.980586E-02	81.8988
1.3000	4.030123E-02	75.5944
1.3500	7.552886E-03	14.8208
1.4000	1.094315E-01	14.2226
1.4500	1.551262E-02	243.6601
1.5000	2.350571E-02	150.6203
1.5500	3.771747E-03	127.8982
1.6000	7.018114E-03	48.0557
1.6500	4.660206E-03	31.8868
1.7000	9.322042E-03	107.3130

#-----

#ENDFILE drillshipX5.rao

No.	Nama Komponen	Berat (Ton)	Titik Berat Terhadap		M*X (Ton.m)	M*Z (Ton.m)		M*Y (Ton.m)
			Midship (m)	Keel (m)			Y	
							(m)	
1	Heli Deck	75.00	65.87	34.23	4940.25	2567.25	0.00	0
2	Derrick	650.00	-3.74	24.86	-2430.81	16159.00	0.00	0
3	Drill Floor	1580.00	-3.22	45.25	-5089.34	71495.00	0.00	0
4	Peralatan pengeboran	1698.00	-58.83	15.60	-99893.00	26488.80	8.02	13618.13
5	Peralatan pengeboran	1698.00	-58.83	15.60	-99893.00	26488.80	-8.02	-13618.1
6	Peralatan pengeboran	1698.00	-43.54	15.60	-73926.17	26488.80	8.02	13618.13
7	Peralatan pengeboran	1698.00	-43.54	15.60	-73926.17	26488.80	-8.02	-13618.1
8	Crane 1	135.00	-35.97	41.62	-4856.41	5618.70	11.69	1578.501
9	Crane 2	135.00	24.28	41.62	3277.80	5618.70	-11.69	-1578.15
10	Proses Kontrol	11.30	-70.64	24.44	-798.23	276.17	0.53	6.04324
11	Lifeboat 1	3.80	34.78	18.42	132.15	70.00	14.09	53.54162
12	Lifeboat 2	3.80	34.78	18.42	132.15	70.00	-14.09	-53.542
13	Lifeboat 3	3.80	42.27	18.42	160.64	70.00	13.98	53.12362
14	Lifeboat 4	3.80	42.27	18.42	160.64	70.00	-13.98	-53.124
15	Lifeboat 5	3.80	49.87	18.42	189.49	70.00	13.70	52.04784
16	Lifeboat 6	3.80	49.87	18.42	189.49	70.00	-13.70	-52.06
17	Lifeboat 7	3.80	55.49	18.42	210.87	70.00	13.28	50.46438
18	Lifeboat 8	3.80	55.49	18.42	210.87	70.00	-13.28	-50.4644
19	Bow Thruster	16.80	66.55	1.48	1118.08	24.86	0.00	0
20	Bow Thruster	16.80	70.02	1.48	1176.28	24.86	0.00	0
21	Navigasi & Komunikasi	60.93	40.67	39.20	2478.02	2388.46	0.00	0
22	Permesinan	1124.00	-46.80	5.23	-52603.20	5878.52	-0.80	-899.2
23	Generator & Room	578.00	-62.60	5.23	-36182.80	3022.94	4.93	2850.812
24	Generator & Room	578.00	-62.60	5.23	-36182.80	3022.94	-4.93	-2850.81
25	Berat Baja Badan Kapal	4569.78	12.68	7.80	57944.83	35644.30	0.00	0
26	Accomodation & Room	78.86	47.22	25.08	3723.98	1977.81	0.00	0
27	Windlass	14.84	66.65	16.28	989.12	241.60	9.45	140.2054
28	Windlass	14.84	66.65	16.28	989.12	241.60	-9.45	-140.205
29	Riser Holder	38.76	17.14	8.865	664.33	343.61	0	0
30	Drilling Water Room	18.745	-46.07	7.4	-863.60	138.71	12.27	230.0012
31	Drilling Water Room	18.745	-46.07	7.4	-863.60	138.71	-12.27	-230.001
32	Drilling Water Room	18.745	-46.07	2.4	-863.60	44.99	12.27	230.0012
33	Drilling Water Room	18.745	-46.07	2.4	-863.60	44.99	-12.27	-230.001
34	Drilling Shaft	32.68	-8.35	9.36	-272.87	305.88	-7.39	-241.424
35	Storage Room	26.97	-47.9	8.86	-1291.86	238.95	-7.55	-203.543
36	Work Shop Room	28.76	-42.70	6.5	-1228.16	186.94	-7.54	-216.85
37	Engine Control Room	28.73	-43.697	7.2	-1255.41	206.86	7.36	211.4442
38	Fuel Oil Tank 1	12.62	-30.9698	7.4	-390.84	93.39	12.317	155.4405
39	Fuel Oil Tank 2	12.62	-30.9698	7.4	-390.84	93.39	-12.317	-155.441

40	Fuel Oil Tank 3	12.62	-30.9928	2.4	-391.13	30.29	12.22	154.2164
41	Fuel Oil Tank 4	12.62	-30.9928	2.4	-391.13	30.29	-12.22	-154.216
42	Fuel Oil Tank 5	15.52	-21.7878	2.4	-338.15	37.25	12.22	189.6544
43	Fuel Oil Tank 6	15.52	-21.7878	2.4	-338.15	37.25	-12.22	-189.654
44	Fuel Oil Tank 7	16.89	-6.8409	2.4	-115.54	40.54	12.22	206.3958
45	Fuel Oil Tank 8	16.89	-6.8409	2.4	-115.54	40.54	-12.22	-206.396
46	Fuel Oil Tank 9	17.69	10.3043	2.4	182.28	42.46	12.22	216.1718
47	Fuel Oil Tank 10	17.69	10.3043	2.4	182.28	42.46	-12.22	-216.172
48	Lubrication Oil Tank	13.46	-21.19	8.26	-285.22	111.18	12.3	165.558
49	Lubrication Oil Tank	13.46	-21.19	8.26	-285.22	111.18	-12.3	-165.558
50	Active Mud Tank	14.68	13.9348	8.5	204.56	124.78	12.3	180.564
51	Active Mud Tank	14.68	13.9348	8.5	204.56	124.78	-12.3	-180.564
52	Residual Mud Tank	13.64	-2.9078	7.98	-39.66	108.85	6.483	88.42812
53	Residual Mud Tank	13.64	-2.9078	3.5	-39.66	47.74	7.4477	101.5866
54	Fresh Water Tank 1	18.75	26.0163	12.8	487.81	240.00	12.3	230.625
55	Fresh Water Tank 2	18.75	26.0163	12.8	487.81	240.00	-12.3	-230.625
56	Fresh Water Tank 3	42.13	48.2757	9.6	2033.86	404.45	6.6163	278.7447
57	Fresh Water Tank 4	42.13	48.2757	9.6	2033.86	404.45	-6.6411	-279.79
58	Fresh Water Tank 5	18.72	26.0163	2.25	487.03	42.12	12.2158	228.6798
59	Fresh Water Tank 6	18.72	26.0163	2.25	487.03	42.12	-12.2318	-228.979
60	Fresh Water Tank 7	39.59	47.2601	2.25	1871.03	89.08	4.388	173.7209
61	Fresh Water Tank 8	39.59	47.2601	2.25	1871.03	89.08	-4.388	-173.721
62	Crew dan Bawaannya	20.4	47.22	25.08	963.34	511.63	0.00	0
63	Bahan Bakar	160	-30.9698	7.4	-4955.17	1184.00	12.317	1970.72
64	Bahan Bakar	160	-30.9698	7.4	-4955.17	1184.00	-12.317	-1970.72
65	Bahan Bakar	160	-30.9928	2.4	-4958.85	384.00	12.22	1955.2
66	Bahan Bakar	160	-30.9928	2.4	-4958.85	384.00	-12.22	-1955.2
67	Bahan Bakar	312.5	-21.7878	2.4	-6808.69	750.00	12.22	3818.75
68	Bahan Bakar	312.5	-21.7878	2.4	-6808.69	750.00	-12.22	-3818.75
69	Bahan Bakar	312.5	-6.8409	2.4	-2137.78	750.00	12.22	3818.75
70	Bahan Bakar	312.5	-6.8409	2.4	-2137.78	750.00	-12.22	-3818.75
71	Bahan Bakar	375	10.3043	2.4	3864.11	900.00	12.22	4582.5
72	Bahan Bakar	375	10.3043	2.4	3864.11	900.00	-12.22	-4582.5
73	Active Mud	676.26	13.9348	3.5	9423.55	2366.91	12.3	8317.998
74	Active Mud	676.26	13.9348	3.5	9423.55	2366.91	-12.3	-8318
75	Air Tawar	1100	26.0163	12.8	28617.93	14080.00	12.3	13530
76	Air Tawar	1100	26.0163	12.8	28617.93	14080.00	-12.3	-13530
77	Air Tawar	1356.5	48.2757	9.6	65485.99	13022.40	6.6163	8975.011
78	Air Tawar	1356.5	48.2757	9.6	65485.99	13022.40	-6.6411	-9008.65
79	Air Tawar	1100	26.0163	2.25	28617.93	2475.00	12.2158	13437.38
80	Air Tawar	1100	26.0163	2.25	28617.93	2475.00	-12.2318	-13455
81	Air Tawar	1356.5	47.2601	2.25	64108.33	3052.13	4.388	5952.322

82	Air Tawar	1356.5	47.2601	2.25	64108.33	3052.13	-4.388	-5952.32
83	Minyak Pelumas	800	-21.19	3.26	-16952.00	2608.00	12.3	9840
84	Minyak Pelumas	800	-21.19	3.26	-16952.00	2608.00	-12.3	-9840
85	Logistik	356.20	46.17	25.08	16445.75	8933.50	0	0
86	Drilling Water	346.8	-46.07	5.16	-15977.32	1789.49	12.27	4255.236
87	Drilling Water	346.8	-46.07	5.16	-15977.32	1789.49	-12.27	-4255.24
88	Drilling Water	346.8	-46.07	2.1	-15977.32	728.28	12.27	4255.236
89	Drilling Water	346.8	-46.07	2.1	-15977.32	728.28	-12.27	-4255.24
90	Residual Mud	235.824	-2.9078	7.98	-685.73	1881.88	2.283	538.3862
91	Residual Mud	235.824	-2.9078	3.5	-685.73	825.38	2.1477	506.4792
92	Helicopter & Isinya	180.98	65.87	39.23	11921.15	7099.85	0	0
	<b>Σ =</b>	35000.00		<b>Σ =</b>	-114524.24	372467.78	<b>Σ =</b>	-160.90

LCG = -3.27 m (Di Belakang Midship)

VCG = 10.64 m

Titik berat terhadap Sumbu Y = 0.00 m

# TABEL SHEAR FORCE

w	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.129	0	1.0998 66	0.2167 6	7.4666 53	13.842 09	18.116 59	24.274 41	30.396 68	36.526 57	42.725 24	48.917 85	54.282 71	59.818 27	58.707 14	57.586 9	56.456 68	51.972 28	49.465 65	46.951 21	44.42 853
		1.3604 91	0.5619 42	8.7599 06	15.643 81	20.421 8	27.074 22	33.678 11	40.267 23	46.839 35	53.483 67	59.273 3	65.203 18	64.453 84	63.660 55	62.820 77	58.547 53	56.178 03	53.773 66	51.33 316
0.245	0	1.7673 37	1.8079 15	10.890 19	18.700 9	24.442 62	32.067 92	39.625 53	47.141 85	54.609 04	62.018 79	68.541 58	75.167 52	75.070 5	74.879 35	74.585 34	70.717 14	68.618 95	66.438 87	64.17 253
		2.1110 62	2.8800 73	12.769 52	21.458 9	28.138 91	36.725 94	45.230 34	53.663 33	62.006 08	70.238 52	77.519 79	84.830 56	85.337 23	85.662 37	85.792 05	82.202 13	80.251 57	78.153 3	75.90 247
0.361	0	2.1293 78	2.9523 7	12.920 18	21.690 29	28.429 82	37.013 22	45.412 75	53.625 72	61.625 15	69.388 43	76.075 86	82.672 41	82.351 41	81.745 27	80.852 34	76.692 46	74.437 08	72.005 71	69.39 773
		1.3720 45	0.9608 34	8.5913 09	15.193 01	19.915 88	26.218 1	32.295 98	38.150 46	43.963 54	49.897 86	54.876 87	59.774 83	58.497 61	57.180 37	56.100 62	51.870 82	49.292 9	46.569 96	43.71 467
0.477	0	1.4520 14	0.9153 82	9.4751 03	16.721 99	22.095 36	29.350 34	36.358 74	43.089 03	49.496 71	55.878 29	61.449 53	66.847 02	65.247 74	63.305 77	61.321 57	56.204 59	52.977 87	50.035 6	46.89 122
		1.5005 47	1.0436 46	9.6171 56	16.758 85	21.821 37	28.817 55	35.438 36	41.655 82	47.990 47	54.120 57	59.008 29	63.715 92	62.068 84	60.046 68	57.731 53	52.350 27	49.072 56	45.707 47	42.39 756
0.593	0	1.4687 69	0.8390 48	9.3527 66	16.415 5	21.062 95	27.527 67	33.713 66	39.704 51	45.669 83	51.131 02	55.950 87	61.467 89	59.848 87	57.805 16	55.486 62	51.176 31	48.890 19	46.405 28	44.00 541
		1.4762 78	0.9119 76	9.1916 79	16.257 2	20.952 46	27.410 06	33.598 53	39.431 32	45.198 26	50.431 07	54.897 53	59.234 53	56.839 08	55.815 8	55.664 25	52.018 56	49.910 32	47.615 59	45.32 375
1.057	0	1.5041 25	0.9174 46	9.1536 64	15.979 45	20.333 12	26.394 88	32.141 98	37.508 26	42.753 76	48.641 46	54.147 08	59.137 19	58.455 19	57.492 66	56.495 44	51.887 61	49.026 88	46.054 09	42.82 551
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
44.35 17	42.265 01	40.162 27	38.042 4	35.904 54	33.337 86	29.908 8	26.459 15	22.493 82	18.504 53	16.644 24	14.922 71	13.384 17	12.079 79	11.073 52	10.456 22	10.383 79	11.002 57	5.7085 59	1.584946	
51.32 093	49.272 48	47.161 27	44.985 41	42.743 21	40.023	36.390 63	32.687 27	28.423 15	24.111 66	21.872 97	19.718 4	17.693 79	15.852 85	14.264 23	13.026 61	12.309 06	12.284 47	6.3965 11	1.798759	
64.30 604	62.357 24	60.257 11	58.000 6	55.583 37	52.591 3	48.588 43	44.414 34	39.572 21	34.552 92	31.512 78	28.468 49	25.473 12	22.590 65	19.903 21	17.527 83	15.658 46	14.508 84	7.5982 97	2.188206	
75.96 389	73.839 29	71.466 18	68.843 3	65.971 08	62.441 01	57.824 02	52.968 04	47.385 2	41.576 54	37.711 03	33.820 36	29.974 29	26.255 78	22.764 45	19.642 14	17.106 95	15.427 27	8.0811 56	2.34541	
68.98 168	66.265 61	63.300 33	60.101 86	56.690 18	52.679 65	47.666 51	42.526 28	36.801 35	31.022 69	27.383 09	23.930 29	20.742 09	17.899 4	15.492 29	13.633 51	12.495 78	12.241 11	6.2874 17	1.735002	
43.29 315	40.842 9	38.201 99	35.936 12	33.668 24	31.195 34	28.168 67	25.150 93	21.921 05	18.473 43	17.076 13	15.748 52	14.384 47	13.052 23	12.000 68	11.233 9	10.801 91	10.888 27	5.6757 83	1.589058	
45.78 769	42.291 28	38.684 23	36.741 95	35.895 13	34.576 26	32.350 63	29.936 8	26.772 14	23.302 23	21.653 84	19.921 4	18.453 31	16.908 12	15.376 99	14.004 51	13.025 79	12.771 92	6.6886 91	1.889179	
42.35 824	41.382 93	40.475 63	39.468 46	38.217 21	36.335 3	33.752 81	30.808 59	26.957 6	23.058 13	21.287 67	19.269 19	17.161 31	15.585 09	14.006 54	12.625 1	12.048 2	12.066 45	6.2098 58	1.734417	
43.80 329	41.601 2	39.287 55	38.446 41	37.528 9	35.885 98	32.952 99	29.516 46	25.102 79	20.302 61	18.539 91	17.164 46	15.567 96	14.401 95	13.115 37	12.325 73	11.842 86	12.001 73	6.2721 36	1.748234	
44.98 575	42.680 87	40.049 36	37.385 88	34.683 22	32.255 88	28.700 69	25.447 43	22.284 39	19.046 01	17.719 5	16.620 63	15.269 99	14.205 47	13.041 31	12.298 76	11.781 03	12.026 37	6.2317 43	1.754262	
42.41 237	40.833 4	39.373 51	37.959 87	36.365 38	33.843 57	30.274 43	26.344 52	21.706 18	17.183 19	15.680 81	14.889 6	13.981 5	13.341 28	12.687 58	12.198 21	11.876 27	12.136 8	6.3225 45	1.779945	

TABEL BENDING MOMENT

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.129	0	93.492	189.42	275.48	335.91	377.46	400.38	401.05	379.51	335.73	269.66	182.84	76.426	37.340	145.86	249.20	341.10	419.69	489.77	549.9
		63	9	73	59	69	61	89	65	23	72	31	56	19	64	53	74	28	61	846
0.245	0	76.893	157.42	229.93	279.49	312.30	328.52	324.47	300.09	255.27	189.89	105.37	2.7781	105.74	207.72	303.35	386.59	455.33	513.64	561.6
		82	61	5	28	46	74	35	49	78	52	1	64	38	71	62	82	49	77	834
0.361	0	49.975	106.49	158.71	191.42	210.55	216.04	204.09	174.62	127.46	62.392	19.252	116.51	217.39	309.58	393.46	463.32	517.51	561.52	605.4
		58	72	51	79	65	2	76	93	23	22	46	51	54	77	09	05	87	51	832
0.477	0	21.934	52.836	82.849	97.041	101.57	96.539	78.138	46.172	0.3151	59.834	133.19	219.09	305.84	397.40	480.65	548.50	599.56	659.81	715.1
		97	72	79	77	55	12	4	36	96	71	33	1	99	24	72	12	71	13	48
0.593	0	40.400	87.776	131.94	158.45	173.91	178.82	169.63	146.30	108.62	38.929	48.866	150.90	254.96	365.38	478.99	577.59	666.50	765.53	852.0
		71	09	17	05	99	25	04	9	58	34	52	86	83	46	6	12	8	92	977
0.709	0	92.573	186.57	270.27	324.57	358.42	370.47	354.79	316.09	255.43	170.18	58.278	72.116	207.70	334.96	453.11	557.88	657.51	744.23	817.6
		07	57	79	17	31	52	38	65	25	28	09	71	8	05	6	9	59	52	948
0.825	0	85.087	174.68	256.70	315.19	358.12	386.12	391.28	375.03	331.55	262.52	168.71	49.434	77.401	202.20	323.10	429.09	518.31	604.62	677.7
		73	05	81	53	06	14	65	35	46	83	1	33	72	72	33	17	83	58	677
0.941	0	88.161	177.25	254.31	306.30	340.90	353.04	343.62	314.93	267.75	196.00	104.40	2.6754	113.45	216.31	312.61	397.44	469.51	533.58	590.3
		35	98	27	2	28	48	77	46	15	88	93	12	74	41	11	69	37	46	959
1.057	0	97.744	195.25	278.74	332.45	362.65	370.43	353.70	314.39	254.38	175.30	79.814	30.607	144.27	249.90	349.28	437.82	514.25	583.21	645.0
		09	8	23	54	41	19	85	61	49	97	61	19	71	6	9	67	53	63	977
1.173	0	93.608	188.02	272.14	328.83	367.74	387.45	385.25	364.77	320.76	256.78	174.89	74.434	34.572	141.42	247.62	346.76	434.94	514.41	583.7
		87	85	63	05	3	5	97	12	68	28	54	27	97	17	19	41	88	15	205
1.289	0	95.883	196.44	288.33	349.36	388.08	407.22	401.58	376.41	327.73	260.16	175.48	73.096	37.226	145.25	252.45	352.17	440.11	518.12	584.5
		74	12	31	27	75	83	73	16	73	32	14	37	26	72	28	49	72	54	815
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
606.1	659.35	704.36	741.23	769.95	791.55	801.87	799.12	782.33	750.48	708.84	660.40	605.74	545.68	481.21	413.65	344.78	276.94	200.21		
858	06	96	86	23	13	1	8	14	42	72	19	84	09	31	35	04	78	19		105.5415
605.1	654.34	700.43	747.98	790.13	822.82	843.42	850.05	841.50	816.53	778.98	732.95	678.89	617.41	549.37	475.97	398.91	320.52	230.96		
558	93	18	43	09	73	61	52	01	83	24	8	31	19	81	97	51	34	89		121.5347
643.3	688.87	743.88	807.85	862.60	906.77	937.48	953.07	957.15	942.44	912.39	870.75	817.61	753.28	678.34	593.76	501.09	402.68	288.92		
069	4	5	56	36	6	76	36	02	72	63	85	9	61	61	47	98	58	23		151.6961
772.2	843.96	904.97	967.29	1030.2	1080.1	1114.1	1130.0	1126.1	1101.7	1071.6	1026.7	967.11	893.07	805.29	704.93	593.79	474.56	338.05		
004	52	78	81	12	85	85	1	71	77	46	46	16	03	97	64	71	04	57		176.6819
930.1	999.42	1061.9	1126.4	1176.8	1212.2	1229.8	1228.0	1205.9	1162.7	1102.6	1030.3	947.08	854.00	752.69	647.95	537.97	425.34	300.89		
314	06	55	2	94	42	66	76	61	02	09	81	11	29	33	57	72	71	41		156.4338
881.8	936.46	977.41	1005.0	1020.2	1032.6	1029.0	1008.3	970.44	915.27	847.88	773.66	694.26	611.44	527.03	442.99	361.48	284.94	203.09		
411	85	69	69	6	84	35	41	12	46	93	87	64	02	27	06	46	35	82		106.3155
741.5	795.74	836.32	868.73	892.97	903.50	898.80	878.37	842.49	791.50	730.71	665.62	601.02	547.59	491.71	430.30	364.41	296.03	215.32		
523	33	32	08	69	21	36	38	89	7	97	3	73	53	29	09	15	02	22		113.9006
645.4	700.45	752.44	798.77	836.89	867.65	885.71	888.03	872.55	837.68	792.51	740.86	678.93	608.30	531.20	453.85	375.58	298.13	212.76		
598	3	36	71	26	91	65	47	42	15	28	65	77	55	21	66	48	63	2		111.1243
704.6	762.25	812.90	854.66	885.70	903.75	905.56	889.58	855.73	808.55	756.93	695.78	626.72	554.02	488.10	420.89	351.66	279.66	199.06		
185	8	59	93	75	02	94	19	01	89	42	13	37	88	21	43	68	71	49		104.0047
645.7	699.67	740.90	770.27	790.17	800.33	801.65	794.29	782.25	757.65	721.86	677.18	622.88	563.48	497.38	425.37	351.93	280.99	201.42		
875	77	99	99	77	58	98	65	44	78	17	5	06	76	13	63	9	84	18		105.4088
642.6	692.19	730.45	759.78	782.71	800.37	810.85	811.46	798.99	769.93	726.32	671.81	607.97	538.66	466.24	396.43	328.87	264.54	193.24		
157	71	95	1	64	2	93	36	64	67	57	65	82	6	05	78	63	2	19		102.6411